

DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTORES
PARA TRATAMENTO DE DEJETOS DA
PRODUÇÃO SUÍNA

FLÁVIA JUNQUEIRA DE MACEDO

2013/2





UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

**DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTORES PARA
TRATAMENTO DE DEJETOS DA PRODUÇÃO SUÍNA**

FLÁVIA JUNQUEIRA DE MACEDO

Trabalho submetido à Banca Examinadora
como parte dos requisitos para Conclusão do
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental –TCC II.

Orientador: Eng^o Jorge Manuel Rodrigues, Ms

Co-orientador: Prof. Paulo Belli Filho, Dr.

FLORIANÓPOLIS (SC)

Julho de 2013

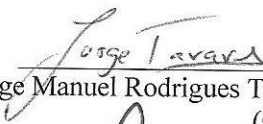
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL

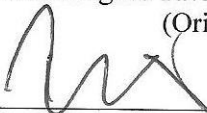
DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTORES PARA
TRATAMENTO DE DEJETOS DA PRODUÇÃO SUÍNA

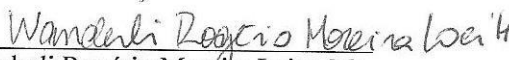
FLÁVIA JUNQUEIRA DE MACEDO

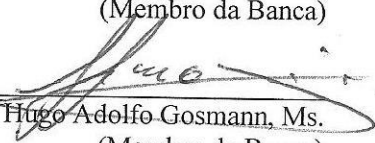
Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte
dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação
em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II

BANCA EXAMINADORA


Engº Jorge Manuel Rodrigues Tavares, Ms.
(Orientador)


Prof. Paulo Belli Filho, Dr.
(Co-orientador)


Engº Wanderli Rogério Moreira Leite, Ms.
(Membro da Banca)


Engº Hugo Adolfo Gosmann, Ms.
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS (SC)
JULHO/2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por todo o apoio que sempre tive para a conclusão desta etapa. Meus pais, Ana e Antônio Luís, sempre muito participativos, são a razão de tudo o que eu consegui realizar, e continuam me incentivando para realização dos meus futuros projetos.

Agradeço à minha irmã Andréa pela ótima acolhida em São Paulo e pela paciência que teve em me receber no primeiro semestre de 2013. Ao meu irmão Luís Gustavo que me influenciou na decisão de seguir a carreira de engenheira. Tão diferentes, mas tão iguais na maneira incondicional e única de amar dos irmãos.

À meus tios e primos que no dia 29 de julho vieram comemorar o aniversário de 81 anos da minha vó Ilma com muita alegria e bagunça, dando um fôlego extra para o término da redação do trabalho.

À meus tios Artur e Cristina que me receberam e se tornaram meus grandes amigos na agradável/tranquila vida florianopolitana.

À minha vó Ilma que sonha em ver todos os seus netos formados e ao meu avô José que não pode ver em vida todos os seus netos formados.

Ao meu orientador Jorge Tavares que com muito humor me fez enxergar os erros e corrigi-los buscando a melhor maneira de expressar cientificamente conceitos confusos da mente de uma futura Engenheira.

À minha banca examinadora pela busca da transferência de conhecimento até o último minuto. Ao mestre Paulo Belli Filho pelas lições aprendidas que serão aplicadas no “saneamento ambiental” e pelo carinho que muito me emocionou em seu discurso após a apresentação.

Aos meus amigos de UFSC (são amigos de tantos cursos que não há espaço para citar todos) que me permitiram aproveitar ao máximo a instituição de ensino na qual estudei.

À UFSC e à Florianópolis pelos talvez melhores anos da minha vida.

“[...] E, do céu, o Criador

Que a tudo observa pensou:

Tem dias que a vaidade do homem me enerva

E chego a me arrepender da minha invenção

Mas, em horas assim, em que a razão prevalece

Confirmo que o homem uma chance merece

E o destino eu deixo em sua própria mão.

Afinal, dei a ele o livre arbítrio

Cabe a ele encontrar o santo equilíbrio

E, assim, evitar a própria extinção.”

Cordel do Acordo dos bichos e do agricultor

Pelo direito à obra do criador

(Catarina Guedes)

RESUMO

O estudo visou dimensionar unidades de digestão anaeróbia modelo canadense para o tratamento de dejetos suínos em Santa Catarina (SC), Brasil. O processo anaeróbio biológico é uma tecnologia mundialmente reconhecida para o tratamento dos dejetos sendo o biodigestor do modelo canadense uma alternativa de baixo custo para o suinocultor brasileiro. Como objetivos específicos foram: dimensionar biodigestores em função de dois parâmetros: de projeto o tempo de detenção hidráulica (TDH) e a Carga orgânica volumétrica (Cv); calcular a produção potencial de metano (CH_4); e estimar os custos de implantação dos biodigestores para dois cenários: o primeiro com valores vigentes na legislação ($7 \text{ L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) e o segundo a partir do volume de dejetos determinado em granjas de crescimento-terminação em Santa Catarina ($5 \text{ L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$). Como resultados ressalta-se a diferença no volume dos biodigestores em aproximadamente 29% (cenário 1 vs cenário 2) e uma produção superior de $\text{CH}_4\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ em uma proporção de 2,42 para o cenário 2 ($5 \text{ L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ e $45,7 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de SV no dejetos). Foram encontrados valores de 0,051 e 0,124 $\text{m}^3 \text{CH}_4\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ para o cenário 1 e o cenário 2 respectivamente. Os custos de implantação variaram de R\$34571,00 a R\$60142,00 para o cenário 1 e de R\$30101,00 a R\$ 50274,00 para o cenário 2 com amarração em viga (AV) aumentando proporcionalmente ao volume de dejetos a ser tratado. Os custos para biodigestores com amarração em solo (AS) foram em média de R\$7000,00 menores. Já o custo por m^3 de Volume útil (Vu) diminui quanto maior o biodigestor, estabilizando-se em R\$180,00 $\cdot\text{m}^{-3}$ de Vu para biodigestores com volumes superiores a 300 m^3 . O custo para a produção de 1 m^3 de CH_4 varia em função do volume do biodigestor e da concentração de Sólidos Voláteis (SV). O estudo mostrou-se de grande importância para a percepção do impacto da redução do volume de dejetos produzidos na suinocultura face à tecnologia de digestão anaeróbia.

Palavras-Chave: dejetos suínos, biodigestor anaeróbio, modelo canadense, dimensionamento, produção potencial de CH_4 .

ABSTRACT

The aim of the study was to design anaerobic biodigestors units, Canadian model, for the pig manure treating in Santa Catarina, Brazil. The pig manure appears as a byproduct of the pig production, which is an essential activity for the global protein supply and heightened developed in the western of Santa Catarina state. Anaerobic biologic process is a world renowned technology for the treatment of pig manure and the Canadian model digesters present themselves as a low cost alternative to the Brazilian pig producers. As specific aims the biodigesters were designed as function of two parameters: HTR and OLR, the potential production of CH_4 was determined and the costs estimated for two scenarios: the first with values of the current legislation ($7 \text{ L}\cdot\text{pig}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) and the second from the value of manure determined in growing-finishing pig units at Santa Catarina ($5 \text{ L}\cdot\text{pig}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$). To accomplish the goals, it was used equations applied to the anaerobic digestion process engineering, adopting parameters found in the literature and contacting a production enterprise of biodigesters to estimate the implementation costs. The results emphasis the difference in the volume of the biodigesters in approximately 29% (scenario 1 vs scenario 2) and a higher production of CH_4 production ($\text{CH}_4\cdot\text{pig}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$) at a ratio of 2.43 for scenario 2 ($5 \text{ L}\cdot\text{pig}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ and $45.7 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ of VS in manure); regarding the total costs of implementation, these will be higher or lower depending on the parameter project analyzed: considering the digester volume, the scenario 2 showed to be more expensive per m^3 whereas if it is taken into account the CH_4 production, the digesters for the same scenario will be cheapest. The study proved the high importance of understanding the impact of manure volume reduction at pig farms due to the technology of anaerobic digestion.

Keywords: pig manure, anaerobic digesters, Canadian model, design, methane potential production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição espacial do efetivo suíno em 2010.	31
Figura 2 - Problemática ambiental associada à suinocultura.....	38
Figura 3 - Rotas metabólicas da digestão anaeróbia.	41
Figura 4 - Potencial de metano proveniente da suinocultura na região sul do Brasil.....	45
Figura 5 - Biodigestor modelo indiano.	51
Figura 6 - Corte de biodigestor modelo indiano.....	52
Figura 7 - Foto de biodigestor modelo chinês.....	53
Figura 8 - Corte de biodigestor modelo chinês.	54
Figura 9 - Biodigestor modelo canadense.	56
Figura 10 - Planta de biodigestor modelo canadense.	56
Figura 11 - Cortes de um biodigestor modelo canadense.....	57
Figura 12 -Esquema do feixe hídrico de um biodigestor.	58
Figura 13 - Detalhe do Selo Hídrico de um biodigestor do modelo canadense.	58
Figura 14 - Dimensionamento da área da manta a ser utilizada por volume de biodigestor.	63
Figura 15 – Biodigestor após etapa de implantação dos drenos de lodo.	64
Figura 16 - Dimensionamento de biodigestores com TDH = 30 e TDH = 35 dias para granjas com efetivos instalados entre 300 e 1200 animais.	76
Figura 17 – Resultados comparativos para dimensionamento de biodigestores com $C_v = 1,5 \text{ kg SV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$	77
Figura 18 – Resultados comparativos para o dimensionamento de biodigestores para o cenário 1 considerando-se: TDH de 30 dias e C_v de 0,5 e $1,5 \text{ kg SV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$	79
Figura 19 - Resultados comparativos para o dimensionamento de biodigestores para o cenário 2 considerando-se: TDH de 30 dias e C_v de $1,5 \text{ kg SV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$	80
Figura 20 - Produção potencial de metano em função da DQO (Equação 6) para os cenários estudados.	81

Figura 21 - Produção potencial de metano em função dos SV (Equação 7) para os cenários estudados.....	81
Figura 22 – Custo total de implantação dos biodigestores para ambos os cenários através de AV em função do número de suínos instalados na granja.	85
Figura 23 - Custo total de implantação dos biodigestores para ambos os cenários através de AS em função do número de suínos instalados na granja.	87
Figura 24 – (a) Custo do biodigestor por Vu; (b) Custo do biodigestor por m ³ de CH ₄ produzido em função do volume do biodigestor.....	88
Figura 25 - Análise parcial de custo dos diversos itens dos biodigestores com amarração em viga de concreto.....	91
Figura 26 - Análise parcial de custo dos diversos itens dos biodigestores com amarração no solo.	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de referência da FATMA para produção de dejetos.	33
Tabela 2 - Resultados de volume de dejetos obtidos em pesquisas brasileiras em UCT.....	34
Tabela 3 - Consumo médio de água e produção média de dejetos em função do equipamento de dessedentação.....	34
Tabela 4 - Caracterização físico-química de dejetos suínos em diferentes pesquisas.....	36
Tabela 5 - Relação comparativa entre biogás e os combustíveis usuais.	44
Tabela 6 - Volume do biodigestor, produção de biogás e de biofertilizante em função do número de matrizes de uma unidade de produção de suínos.....	50
Tabela 7 - Definição das dimensões de digestores do modelo indiano.	52
Tabela 8 - Definição das dimensões de digestores do modelo chinês..	54
Tabela 9 - Relação entre comprimento e largura para a câmara de fermentação quadrada.	62
Tabela 10 - Área total e preço da manta de laminado de PVC flexível	65
Tabela 11 - Equações utilizadas no dimensionamento do volume útil de biodigestores.	68
Tabela 12 - Valores adaptados e utilizados no cálculo do dimensionamento dos biodigestores para os parâmetros presentes nas equações.....	69
Tabela 13 - Equações utilizadas no cálculo da produção potencial de CH ₄	70
Tabela 14 - Valores adaptados e utilizados no cálculo da produção potencial de CH ₄ para os parâmetros presentes nas equações.....	71
Tabela 15 - Itens do biodigestor do modelo canadense.....	74
Tabela 16 - Vazão diária de dejetos produzidos para o cenário 1 e cenário 2.....	75
Tabela 17 - Produção potencial de CH ₄ por suíno instalado na granja.	82
Tabela 18 - Média da produção potencial de metano em função dos SV _{removidos}	83

Tabela 19 - Equivalência da produção potencial de metano com outras fontes de energia.	84
Tabela 20 - Diferença de custos de implantação de biodigestores com ancoragem por viga de concreto.	86
Tabela 21 - Diferença de custos de implantação de biodigestores com ancoragem por viga em solo	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AINCADESC – Associação das Indústrias de Carnes e Derivados de Santa Catarina

AS – Amarração em Solo

AV – Amarração em Viga

BRF – Brasil Foods

CC – Ciclo Completo

CH₄ – Metano

CO₂ – Dióxido de carbono

Cv – Carga Orgânica Volumétrica

UCT – Unidade de Crescimento/Terminação

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO – Food and Agriculture Organization of United Nations

FATMA – Fundação Meio Ambiente

H₂S – Sulfeto de Hidrogênio

IN – Instrução Normativa

LABEFLU – Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos

MDO – Mão-de-obra

N₂O – Óxido Nitroso

NH₃ – Amônia

pH – Potencial Hidrogeniônico

SC – Estado de Santa Catarina

ST – Sólidos Totais

SV – Sólidos Voláteis

TDH – Tempo de Detenção Hidráulica

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UPL – Unidade de Produção de Leitões

Vu – Volume útil

SUMÁRIO

Agradecimentos	7
Resumo	11
Abstract	13
Lista de Figuras	15
Lista de Tabelas	17
Lista de Abreviaturas e Siglas	19
1. Introdução	25
1.1. Contextualização	25
1.2. Objetivos e hipóteses	27
1.2.1. Objetivos Específicos	27
1.2.2. Hipóteses da pesquisa	27
1.3. Justificativa	28
2. Revisão Bibliográfica	31
2.1. A Suinocultura em Santa Catarina	31
2.2. Dejetos suínos	32
2.2.1. Volume de Dejetos gerados	33
2.2.2. Características físico-químicas	35
2.2.3. Manejo dos dejetos suínos	37
2.3. Processo de Digestão Anaeróbia	40
Hidrólise	41
Acidogênese	42
Acetogênese	42
Metanogênese	42
Sulfetogênese	42
2.4. Produção de biogás e metano na suinocultura	43
2.4.1. O biogás e o metano na suinocultura	43

2.4.2.	Estimativa da Produção de Metano.....	44
2.5.	Biodigestores e o Tratamento de Dejetos Suínos	48
2.5.1.	Modelo Indiano.....	50
2.5.2.	Modelo Chinês	53
2.5.3.	Modelo Canadense.....	55
2.6.	Dimensionamento de Digestores do Modelo Canadense	59
2.6.1.	Caixa de Passagem.....	59
2.6.2.	Câmara de Fermentação.....	60
2.6.3.	Tubulações	62
2.6.4.	Bombas centrífugas.....	62
2.6.5.	Campânula em Manta	63
2.7.	Custo da implantação de biodigestores	64
3.	Materiais e métodos	67
3.1.	Dimensionamento de biodigestores do modelo canadense ..	67
3.2.	Cálculo da produção potencial de metano.....	70
3.3.	Análise dos custos de instalação de biodigestores	73
4.	Resultados e discussões	75
4.1.	Dimensionamento de biodigestores.....	75
4.1.1.	Parâmetro de projeto: Tempo de Detenção Hidráulica (TDH).....	76
4.1.2.	Parâmetro de projeto: Carga Orgânica Volumétrica (C_v).....	77
4.1.3.	Comparação entre os parâmetros de projeto: TDH e C_v	79
4.2.	Produção potencial de metano.....	80
4.2.1.	Produção Potencial de CH_4 a Partir da DQO e da C_v ..	80
4.2.2.	A Produção de CH_4 e Outras Energias.....	84

4.3.	Análise do custo de implantação dos biodigestores.....	84
4.3.1.	Análise do custo geral do biodigestor	85
4.3.2.	Custo por biodigestor e por produção de CH ₄	88
4.3.3.	Análise de custo por item do biodigestor	90
5.	Conclusões	93
	Referências bibliográficas	95
	APÊNDICES.....	105
	APÊNDICE 1 - Dimensionamento de biodigestores do modelo canadense em função do TDH (30 E 35 DIAS)	107
	APÊNDICE 2 - Dimensionamento de biodigestores com $C_v = 1,5 \text{ Kg SV} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	108
	APÊNDICE 3 - Cálculo da produção potencial de metano em biodigestores do modelo canadense	109
	APÊNDICE 4 - Análise dos custos dos biodigestores em função do volume útil do biodigestor e da produção de CH ₄	110
	APÊNDICE 5 - Custos dos itens de implantação dos biodigestores que possuem valor maior a R\$2000,00 para biodigestores com amarração em viga	111
	APÊNDICE 6 - Custos dos itens de implantação dos biodigestores que possuem valor maior a R\$2000,00 para biodigestores com amarração em solo	112
	ANEXOS.....	113
	ANEXO 1 - Planilha orçamentária de biodigestores do modelo canadense com amarração em viga	115
	ANEXO 2 - Planilha orçamentária de biodigestores do modelo canadense com amarração em solo	116

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Estudos recentes sobre a dinâmica populacional revelam a crise de alimentos como uma das principais questões a ser abordada nos próximos anos. Nesse contexto, a proteína animal de origem suína apresenta-se como a opção de nutrição mais utilizada para a população em diversos países no mundo. Em 2012, foram produzidas 1.960 milhões de cabeças de suíno sendo que a China, a União Europeia e os Estados Unidos apresentaram-se como os três maiores produtores de suínos, do mundo.

O Brasil ocupa a quarta posição com um percentual de 4,81% da produção de suínos no mundo (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2012). De acordo com o relatório do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística sobre a Produção Pecuária Municipal no Brasil, a Região Sul respondeu por 47,9 % do efetivo nacional de suínos no primeiro semestre de 2010. No mesmo período, Santa Catarina (SC) respondeu por 20,54% do efetivo nacional (BRASIL, 2011). A maior parte dos sistemas de produção em SC funciona no modo familiar “intensivo”, decorrente do modelo agroindustrial para aumento de produtividade (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES SUÍNOS, 2009).

Os dejetos produzidos devem por sua vez ser isolados dos suínos em confinamento para manutenção de um ambiente sadio para os mesmos (OLIVEIRA 1993). Por outro lado, são prejudiciais ao meio ambiente, sendo necessário o seu tratamento e a sua disposição adequada (OLIVEIRA, 1993; BELLI FILHO et al., 2007).

Os dejetos suínos são normalmente manejados na forma líquida e requerem um armazenamento mínimo para a sua disposição no solo (OLIVEIRA, 2004). Podem, entre outros sistemas, ser armazenados em esterqueiras, tratados através do processo de compostagem ou serem submetidos a tratamento biológico anaeróbio em biodigestores para estabilização da matéria orgânica (DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2003; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA,

2006; OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006). O processo de digestão anaeróbia de dejetos suínos além da redução do volume de dejetos permite o aproveitamento do metano (CH_4) produzido, gás de importante valor econômico presente no biogás (GUSMÃO, 2008; DAL MAGO, 2009).

Avanços em relação à tecnologia de digestão anaeróbia foram observados no Brasil em relação à redução de custos de investimento em função de materiais alternativos utilizados, tal como a lona plástica em substituição à campânula de ferro (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006). São os chamados biodigestores do modelo canadense, lagoas anaeróbias cobertas por campânula em manta de vinil. Ainda segundo os mesmos autores, leva-se em conta para o dimensionamento de um biodigestor o Tempo de Detenção Hidráulica (TDH), a temperatura e a Carga de Sólidos Voláteis (Cv) do substrato. Além disso, o volume de dejetos produzido também é fundamental para definição do tipo de sistema de manejo e gestão (OLIVEIRA, 1993).

A evolução científica, técnica e tecnológica levaram à produção de dejetos suínos mais concentrados através da melhor gestão do uso da água na suinocultura (TAVARES; OLIVEIRA; BELLI FILHO, 2012). Para a fase fisiológica de crescimento-terminação (UCT) da cadeia de produção de suínos foram encontrados valores médios de geração de 4,58 a 11,20 $\text{L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ (KOZEN, 1980; GOSMANN, 1997; MEDRI, 1997; GUSMÃO, 2008; DAL MAGO, 2009; NARDI, 2009; TAVARES, 2012,).

O menor volume de dejetos foi obtido por Tavares (2012) que comparou a produção de dejetos gerados no oeste de SC em unidades de crescimento-terminação (UCT) de suínos para três diferentes equipamentos de dessedentalização. O mesmo autor determinou uma média de produção de 4,58 $\text{L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ em granjas com ciclos de produção de 15 semanas. Os resultados obtidos foram inferiores aos utilizados atualmente como referência para o licenciamento da atividade pela Fundação do Meio Ambiente do estado de Santa Catarina (FATMA), de 7 $\text{L}\cdot\text{suíno}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ (OLIVEIRA, 1993). Esta nova realidade, origina diferentes volumes e características nos dejetos suínos.

1.2. OBJETIVOS E HIPÓTESES

Estimar a dimensão de unidades de digestão anaeróbia modelo canadense para o tratamento de dejetos suínos considerando-se diferentes volumes de dejetos produzidos em unidades suinícolas de crescimento-terminação em Santa Catarina.

1.2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o dimensionamento das unidades de digestão anaeróbia para diferentes volumes de dejetos produzidos considerando tempo de detenção hidráulica e carga orgânica volumétrica como parâmetros de projeto;
- Estimar a produção potencial de metano pelo processo de digestão anaeróbia em unidades suinícolas; e,
- Determinar o custo de implantação das unidades de digestão anaeróbia considerando-se os diferentes cenários de produção de dejetos apresentados (produção de dejetos de $5 \text{ e } 7 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$);

1.2.2. HIPÓTESES DA PESQUISA

- A característica dos dejetos suínos produzidos influencia no dimensionamento de reatores anaeróbios;
- O volume de um digestor anaeróbio pode ser dimensionado a partir do TDH e da Cv;
- A produção potencial de metano em uma unidade de digestão anaeróbia varia em função da Demanda Química de Oxigênio e Sólidos Voláteis; e,
- O custo de implantação dos digestores anaeróbios é variável dependendo do volume e características físico-químicas dos dejetos gerados em cada unidade de produção.

1.3. JUSTIFICATIVA

Para fins de redução de impacto ambiental por parte da atividade suinícola, pesquisas vem sendo feitas, desde 1994, no Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos (LABEFLU) na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) com relação ao tratamento de efluentes da suinocultura, na linha de pesquisa da sustentabilidade ambiental. Foi dado enfoque no tratamento anaeróbio por se tratar de uma tecnologia adequada para a composição química deste tipo de dejetos.

Com o intuito de comprovar algumas vantagens desta tecnologia, incluindo a energética, estudos foram realizados sobre a produção de biogás na suinocultura (GUSMÃO, 2008; DAL MAGO, 2009). Buscando entender maneiras de redução do volume de dejetos gerados, Tavares (2012) segue a linha do uso eficiente da água por parte dos suinocultores para igual redução de dejetos suínos produzidos nas unidades de produção.

No legislativo diferentes aspectos são invocados para a proteção da flora, fauna e outros recursos naturais. A suinocultura pode ser enquadrada nacionalmente dentro das seguintes leis e resoluções:

- Código Florestal Federal (Lei Federal nº 4.771/1965 e posteriores alterações);
- Resoluções do CONAMA nº 357/2005, nº 397/2008 e nº 430/2011 (padrão de efluentes em copos de água receptores).

Em SC, maior estado produtor de suínos do Brasil, a legislação conta com os seguintes decretos e instruções Estaduais:

- Decreto Estadual nº 14.250/1981 (proteção e melhoria da qualidade ambiental);
- Lei Estadual nº 14.675/2009 (Código Estadual do Meio Ambiente);
- Instrução Normativa da FATMA nº 34, de 2008 (atividades Sujeitas ao Cadastro Ambiental);
- Instrução Normativa da FATMA nº 37, de 2008 (criação de animais confinados pequeno, médio e grande porte); e,

- Instrução Normativa da FATMA nº 11, de 2009 (suinocultura).

A suinocultura brasileira tem perdido destaque no mercado exportador por questões de mão-de-obra, logística e tributos (NETO, 2009). Porém, o estado de SC é isoladamente o maior estado produtor de suínos do país, com um efetivo de 7.968.116 animais, 20,54% do efetivo nacional (BRASIL, 2011). Segundo a ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES SUÍNOS (2009), a suinocultura de SC se destaca, pois:

- Possui índices de produtividade semelhantes ou superiores aos dos europeus e americanos;
- Concentra as sedes das cinco maiores empresas do mercado suíno nacional em seu território,
- O estado possui mão-de-obra qualificada e empregava em 2008 em torno de 65 mil pessoas diretamente e 140 mil pessoas indiretamente;
- Possui trabalhos em prol da manutenção e recuperação do meio ambiente; e,
- Está livre da Febre Aftosa desde 1993

Apesar de a economia ser beneficiada, desequilíbrios ambientais relacionados à atividade, de origem físico-química e biológica, foram constatados pela observação da poluição na água (PALHARES et al., 2009; ROHDEN et al., 2009) e no solo (CORRÊA et al., 2011) na região. De acordo com os autores, são produzidas diariamente grandes quantidades de dejetos com elevadas cargas de matéria orgânica e nutrientes. Tais dejetos devem ser corretamente gerenciados para evitar a contaminação de rios (eutrofização), águas subterrâneas (aumento da concentração do íon nitrato, por exemplo), do solo (patógenos e nutrientes) e do ar (emissões gasosas) (BELLI FILHO, 1995; KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

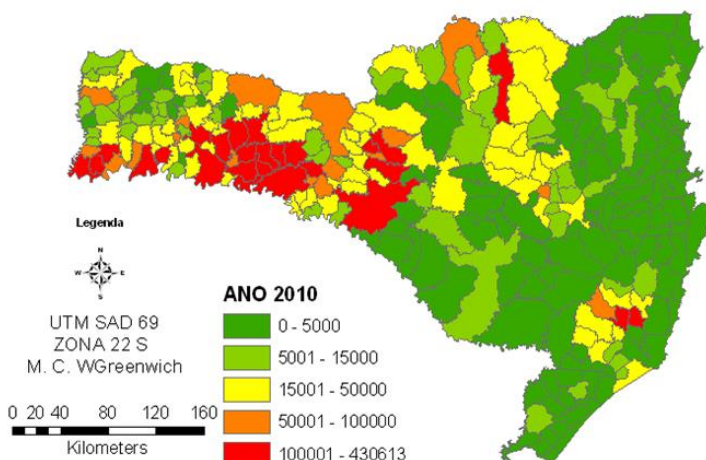
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A SUINOCULTURA EM SANTA CATARINA

A carne suína representa aproximadamente 50% do consumo e produção de carnes no mundo. Em 2012, foram produzidas 1960 milhões de cabeças de suíno. O Brasil ocupa o quarto lugar na produção mundial com 3,15% do efetivo total produzido (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2012). Santa Catarina responde por 20,54% do efetivo nacional (BRASIL, 2011) com um efetivo de 7.968.116 animais.

A Figura 1 mostra a distribuição espacial do efetivo suíno por município em Santa Catarina.

Figura 1 - Distribuição espacial do efetivo suíno em 2010.



Fonte: Brasil (2011), apud Tavares (2012)

Os sistemas de produção encontrados no Brasil são o de produção integrada e os de produção independente. Os produtores integrados recebem animais e ração da agroindústria, que garante em a compra do suíno para posterior abate. Os produtores independentes não

possuem vínculo com a abatedora ou processadora e vendem seus produtos diretamente no mercado. Na região sul, predomina o sistema integrado controlado pelas grandes empresas existentes na região (DA ROCHA, 2006). Nos sistemas integrados é produzido aproximadamente 90% do abate das indústrias e 80% da produção de Santa Catarina (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES SUÍNOS, 2011). O objetivo deste tipo de produção é o lucro da agroindústria com a alta produtividade.

As unidades suinícolas podem ser separadas em Ciclo Completo (CC), que possui os suínos em todas as fases fisiológicas na mesma unidade de produção, Unidades de Produção de Leitões (UPL), que compreendem as fases fisiológicas de gestação, maternidade e creche, e as UCT, que corresponde às fases de crescimento-terminação mantendo-se os suínos para ganho de peso entre os 25 a 110 kg (OLIVEIRA, 1993).

Dados de um levantamento agropecuário realizado em 2005 pelo instituto Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola (CEPA) mostra que nesse mesmo ano, aproximadamente 40% dos produtores possuíam o sistema de produção UPL, 31% o sistema UCT e 28% em CC. Uma parcela menor do que 1% possuía unidades para reprodutores (CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA, 2005). De acordo com Tavares (2013), na região oeste de SC, cerca de 80% do efetivo de suínos encontra-se em UCT.

2.2. DEJETOS SUÍNOS

Os dejetos suínos são constituídos por fezes, urina, água desperdiçada no dessedentalização, água de limpeza de baias e corredores, água das chuvas que podem entrar nas calhas, água de nebulização, resíduos de ração, pelos, poeiras e outros materiais decorrentes do processo de criação como o sangue (KONZEN, 1983; GOSMANN, 1997; COUTINHO, 2001; HENN, 2005).

As características dos dejetos suínos variam quantitativa e qualitativamente de acordo com a sua alimentação, com os sistemas de

criação em que estão inseridos e com a quantidade de água ingerida (BELLI FILHO, 1995). São apresentados como um resíduo escuro com características variáveis de acordo com a sua raça e de acordo com o seu peso vivo (OLIVEIRA, 1993).

A caracterização dos dejetos suínos é importante para que a tecnologia de manejo de dejetos implantada seja a mais adequada (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

2.2.1. VOLUME DE DEJETOS GERADOS

Com consistência de líquida à pastosa, o volume de efluentes gerados varia em função do tamanho do rebanho, do peso vivo do animal (OLIVEIRA, 1993), do volume de água ingerido (GOULART, 1997), da consistência da fração sólida (PERDOMO, 1999) e das práticas de manejo, influenciadas pelos desperdícios em bebedouros e na limpeza das baias (OLIVEIRA, 2003; TAVARES, 2012).

A

Tabela 1 apresenta os valores de referência dos volumes de dejetos produzidos em relação ao peso vivo de animais utilizados na IN-11 da FATMA para o licenciamento ambiental das unidades de produção de suínos. Tais valores foram determinados em pesquisas brasileiras desenvolvidas no final década de 80 (TAVARES, 2012).

Tabela 1 - Valores de referência da FATMA para produção de dejetos.

Categoria de suínos	Esterco (kg.d⁻¹)	Esterco + Urina (kg.d⁻¹)	Dejetos Líquidos (kg.d⁻¹)
Porcas em gestação	3,60	11,00	16,00
Porcas em lactação	6,40	18,00	27,00
25-100 kg	2,30	4,90	7,00
Machos	3,00	6,00	9,00
Leitões	0,35	0,95	1,40
Média	2,35	5,80	8,60

Fonte Adaptado de Oliveira (1993).

A Tabela 1 mostra que a produção de dejetos varia em função do tipo de produção estabelecido para a granja. Os valores encontrados para UCT por diversos pesquisadores são listados na Tabela 2.

Tabela 2- Resultados de volume de dejetos obtidos em pesquisas brasileiras em UCT.

Autores	Produção de dejetos (L·suíno⁻¹·d⁻¹)
Tavares (2012)	4,58
Gosmann (1997)	5,90
Konzen (1980); Oliveira (1993)	7,00
Perdomo (1999)	7,50
Sinotti (2005)	9,73
Medri (1997)	10,00
Gomes et al. (2009)	10,90

O autor que indicou menores valores de produção de dejetos foi Tavares (2012), que em sua pesquisa sobre diferentes tipos de equipamentos para o dessedentalização de suínos constatou que o consumo de água nos bebedouros está relacionado ao volume de dejetos suínos produzidos.

A Tabela 3 apresenta os dados referentes às UCT com ciclo de produção médio de 15 semanas (n=12 ciclos). Tavares (2012) encontrou uma produção média de 4,58 L·suíno⁻¹·d⁻¹ para o período considerado.

Tabela 3 - Consumo médio de água e produção média de dejetos em função do equipamento de dessedentação.

Parâmetro (L·suíno⁻¹·d⁻¹)	BB	CH	EC
Consumo de água	8,23 ± 0,42	6,84 ± 0,45	8,16 ± 0,45
Produção média de dejetos	5,35 ± 0,20	4,15 ± 0,21	4,26 ± 0,22

Fonte: Adaptado de Tavares (2012); BB: bebedouros do tipo Bite Ball; CH: bebedouros do tipo Chupeta; e EC: bebedouros do tipo concha Ecológica.

2.2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

De acordo com Silva (1996), as características físico-químicas de dejetos variam de acordo com as condições locais de cada estudo, o clima, o tipo de alimentação, o método de amostragem e a água utilizada no manejo, responsável pelas diferentes diluições do efluente. Lima e Nones (1999) relacionam os dejetos à quantidade e digestibilidade dos nutrientes fornecidos na dieta.

Babot et al. (2011) indicam que a manipulação das rações pode ser uma solução possível para redução das características poluentes. Estima-se que entre 92 a 96% do zinco, 72 a 80% do cobre e 60 a 70% do nitrogênio ingerido pelos animais sejam expelidos pelos suínos através de sua excreta (JONGBLOED, 2008 apud TAVARES, 2012). Alguns destes componentes colaboram para o elevado teor de: sólidos suspensos (matéria orgânica), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), concentração de P e N e população microbiana nos dejetos suínos (CHELME-AYALA et al., 2011).

A Tabela 4 mostra alguns valores encontrados na literatura para a caracterização de dejetos suínos de acordo com o sistema de produção.

Tabela 4 - Caracterização físico-química de dejetos suínos em diferentes pesquisas.

Parâmetro	Unidade	Silva (1996)	Medri (1997)	Zanotelli (2002)	Monteiro (2005)	Henn (2005)	Tavares (2012)
Tipo de Ciclo	-	UCT	UCT	CC	CC	CC	UCT
ST	$\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	22,4	17,2	22,9	73,0	36,1	60,5
SV	$\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	16,4	10,3	16,9	53,0	25,2	45,7
SF	$\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	6,0	-	-	-	10,9	14,8
DQO	$\text{g DQO}\cdot\text{L}^{-1}$	25,5	21,6	26,4	85,0	43,4	79,6
DBO	$\text{g DBO}\cdot\text{L}^{-1}$	-	12,0	-	23,0	21,3	-
NTK	$\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	2,4	2,2	2,5	1,6	2,0	5,7
NH_4^+	$\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	-	-	0,6	3,5
P	$\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	0,1	0,6	1,2	0,8	0,7	1,2
pH	-	6,6	6,9	6,9	6,8	6,6	7,8

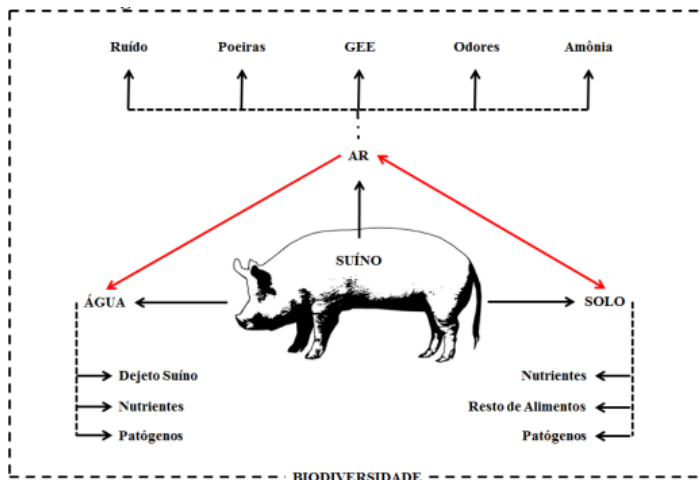
2.2.3. MANEJO DOS DEJETOS SUÍNOS

Nos sistemas de produção de suínos, os dejetos devem ser isolados para manutenção das condições sanitárias dos animais (OLIVEIRA, 1993). Ao mesmo tempo, não devem ser dispostos no ambiente sem tratamento prévio, por possuir elevado potencial poluidor.

Os nutrientes citados anteriormente, e presentes nos dejetos, aliados a patógenos existentes no intestino dos suínos, quando aplicados incorretamente no solo, podem causar a sua contaminação (CORRÊA et al., 2011), bem como dos recursos hídricos. Em monitoramento quinzenal de rios de uma microbacia do município de Concórdia, no oeste de Santa Catarina, Palhares et al. (2009) verificaram a não adequação da água para usos nobres. Já Rohden et al. (2009) evidenciaram que em 55% das amostras de 149 poços da mesma região, estas foram classificadas como impróprias para consumo humano.

Outro impacto da atividade está relacionado às alterações das características físico-químicas e biológicas dos solos pela contaminação, perda de matéria orgânica, erosão e esgotamento (DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002; SEGANFREDO, 2004). Também ocorrem prejuízos devido à poluição atmosférica através da emissão de poeiras, odores e gases de efeito estufa: dióxido de carbono (CO_2), CH_4 , amônia (NH_3), Óxido Nitroso (N_2O), Sulfeto de Hidrogênio (H_2S) (OLIVEIRA, 1993; BELLI FILHO et al., 2001). Outro impacto é a proliferação de insetos, moscas e outros vetores, pois as fezes proporcionam um ambiente ideal para o desenvolvimento das larvas (PEDROSO, 1993; HENN, 2005).

A Figura 2 apresenta de forma resumida a problemática ambiental associada à atividade suinícola.

Figura 2 - Problemática ambiental associada à suinocultura.

Fonte: Tavares (2012).

Pelos riscos ambientais associados à sua produção, a atividade suinícola é enquadrada pelos órgãos de controle ambiental como uma atividade de elevado potencial poluidor (FUNDAÇÃO MEIO AMBIENTE, 2009). Os dejetos suínos (excreta animal + perda de água nos bebedouros + água utilizada na limpeza) requerem um armazenamento mínimo de 120 dias, conforme exigido pela IN-11 da FATMA. O órgão legislador definiu ainda $50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, como o volume permitido a aplicar no solo pelos produtores. No entanto, muitas vezes o produtor não possui área disponível suficiente para dispor os dejetos produzidos em sua propriedade (TAVARES, 2012). Isto evidencia a necessidade de melhor manejo dos dejetos para a unidade produtora entrar em conformidade com a legislação.

Seguindo a busca pela sustentabilidade ambiental na atividade suinícola, alternativas de manejo que valorizem o dejeito para sua posterior utilização na agricultura são priorizadas (DAL MAGO, 2009). Tal processo é feito através da degradação orgânica da matéria carbonácea e transformação dos nutrientes por via anaeróbia ou aeróbia. De acordo com Metcalf e Eddy (2003), a anaerobiose é a via de tratamento biológico mais indicada para grandes descargas de matéria orgânica carbonácea medida em termos de DBO e DQO.

No Brasil, a forma mais usual de manejo de dejetos até 2004 era o armazenamento em esterqueiras ou em lagoas para posterior aplicação no solo (KUNZ et al., 2004). Tal técnica de manejo apresenta-se como uma opção de baixo custo para os produtores que possuem área de cultivo suficiente para uso dos dejetos como fertilizante. Por outro lado, a não contenção dos gases liberados pelas reações químicas, podem gerar odores indesejáveis, devido a emissão de gases provenientes de odor como o NH_3 e o H_2S (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

Neste sentido, os biodigestores anaeróbios apresentam maior atratividade, pois permitem a agregação de valor ao dejetos. Além da estabilização da matéria orgânica, os gases produzidos são captados por campânulas e podem ser aproveitados para geração de energia, além de serem evitados os odores provenientes da degradação da matéria orgânica (PERDOMO; OLIVEIRA; KUNZ, 2003). O biofertilizante resultante da estabilização da matéria orgânica por via anaeróbia possui ainda um alto potencial agrônômico com capacidade de reduzir parcial ou totalmente a adubação química (SCHERER, 2012). O mesmo autor afirma que o N e o K após o processo de digestão estão em uma forma mais facilmente assimilável pelas plantas.

Como alternativas de tratamento anaeróbio aos dejetos suínos podem-se citar ainda as lagoas, sistema de construção simples e fácil manutenção. Por outro lado, a sua instalação em série deve ser prevista para que possa ser atingida a eficiência esperada, podendo, o TDH atingir 100 dias (PERDOMO; OLIVEIRA; KUNZ, 2003). Com TDH alto, o produtor depende de grande área para sua instalação, caracterizando em uma desvantagem para a aplicação desta técnica. Além disso, o controle do processo complica com a existência de curtos-circuitos e a manutenção da temperatura (PERDOMO; OLIVEIRA; KUNZ, 2003).

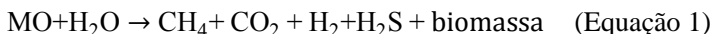
Outra alternativa de manejo dos dejetos suínos é a compostagem, via aeróbia de tratamento onde ocorre degradação da matéria orgânica com desprendimento de água em forma de vapor e calor, reduzindo o volume de resíduos produzidos (DE GUARDIA et al., 2010). Pode ser utilizada para tratamento da fração sólida do dejetos misturado com outros resíduos agrícolas como a palha e a maravalha

(resíduos onde a concentração de matéria seca é superior a 60%) (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006). O composto formado possui alto valor agrônômico e baixa concentração de patógenos, devido à elevação natural da temperatura por parte dos microrganismos aeróbios (PAILLAT et al., 2005).

2.3. PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia é um processo biológico de degradação da matéria orgânica realizado na ausência de oxigênio e é desenvolvida por um grupo de microrganismos capaz de converter o material orgânico presente no meio, através de um número de etapas intermediárias, em dois produtos finais: CH_4 e CO_2 (MALINA JR; POHLAND, 1992 apud DAL MAGO, 2009), além de traços de outros gases, biomassa e efluente digerido.

A Equação 1 adaptada de Metcalf e Eddy (2003) resume a via metabólica anaeróbia:



onde,

MO: matéria orgânica composta por Carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e sulfato;

H₂O: água;

CH₄: metano;

CO₂: dióxido de carbono;

NH₃: amônia;

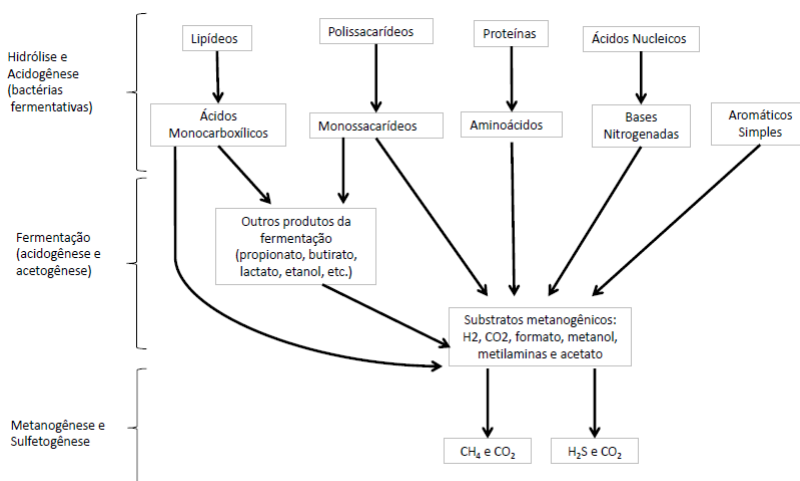
H₂S: sulfeto de hidrogênio.

O processo anaeróbio apresenta vantagens: baixa produção de sólidos (cerca de 2 a 8 vezes inferior à dos processos aeróbios), baixo consumo de energia, o que implica em baixos custos operacionais (não necessita o aporte de oxigênio), produção de CH_4 , gás combustível de

elevado poder calorífico, possibilidade de preservação da biomassa sem alimentação do reator por vários meses, tolerância a elevadas cargas orgânicas, aplicabilidade em pequena e grande escala e baixo consumo de nutrientes (SANCHEZ et al., 2005). Os mesmos autores também destacam a capacidade de estabilização de grande volume de dejetos.

De um modo geral, o processo anaeróbio envolve três estágios: 1) hidrólise enzimática do material orgânico complexo em material orgânico simples; 2) conversão dos compostos orgânicos solúveis em ácidos orgânicos através de bactérias anaeróbias e facultativas; e 3) transformação dos ácidos orgânicos simples em CH_4 e CO_2 pelas bactérias metanogênicas (METCALF; EDDY, 2003).

Figura 3 - Rotas metabólicas da digestão anaeróbia.



Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2003).

HIDRÓLISE

A hidrólise é a conversão de materiais particulados complexos (polímeros) em materiais dissolvidos mais simples por enzimas excretadas por bactérias fermentativas hidrolíticas para que possam atravessar a parede celular das bactérias fermentativas (METCALF; EDDY, 2003).

ACIDOGÊNESE

A acidogênese corresponde a uma metabolização dos produtos solúveis da hidrólise no interior das células através do metabolismo fermentativo. Os açúcares, aminoácidos e ácidos graxos resultantes da hidrólise são transformados em compostos orgânicos mais simples como os ácidos orgânicos (acético, propiônico e butírico), álcoois, cetonas, dióxido de carbono e hidrogênio, além de biomassa bacteriana (BELLI FILHO, 1995).

ACETOGÊNESE

As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação de compostos orgânicos intermediários (propionato, butirato, etc.) em substrato que será convertido pelos microrganismos metanogênicos (acetato, hidrogênio, dióxido de carbono). A grande produção de H_2 (acetato) inibe a produção de acetato a partir de propionato e butirato. Assim, tais reações só poderão ocorrer com a ação de microrganismos consumidores de acetato feita através de microrganismos metanogênicos hidrogenotróficos e por bactérias redutoras de sulfato (CHERNICHARO, 2007).

METANOGÊNESE

É uma etapa de transformação geradora de alguns componentes do biogás por microrganismos metanogênicos dentro do domínio *Archaea*. Existem dois grupos principais de reações: um que forma CH_4 a partir de ácido acético ou metanol (metanogênicas acetoclásticas) e outro que produz CH_4 a partir do H_2 e CO_2 (metanogênicas hidrogenotróficas). Ambas as reações são de extrema importância ecológica em ambientes anaeróbios, pois removem o excesso de H_2 gerado na etapa anterior, possibilitando a realização da etapa de acetogênese descrita anteriormente (BELLI FILHO, 1995).

SULFETOGÊNESE

Neste processo, sulfato, sulfito e outros compostos sulfurados são reduzidos a sulfeto através de um grupo de bactérias sulforeductoras, sendo o H_2S um componente do biogás produzido na anaerobiose. Tais

bactérias são capazes de utilizar muitos substratos diferentes como toda a cadeia de ácidos orgânicos voláteis, diversos ácidos aromáticos, hidrogênio, metanol, etanol, glicerol, açúcares, aminoácidos e vários compostos fenólicos. As bactérias sulforedutoras são competidoras face às bactérias metanogênicas. A concentração de sulfato no meio vai definir qual o processo predominante na utilização do acetato e hidrogênio (CHERNICHARO, 2007).

Como em todo processo biológico, os microrganismos envolvidos são de extrema importância, bem como a manutenção das condições ideais para o seu crescimento. No caso da temperatura, a biodigestão mais efetiva ocorre na faixa mesofílica, sendo a temperatura ideal em torno de 37° C (CRAVEIRO et al., 1982). O valor ideal para pH situa-se entre 6,5 e 7,2, e o teor de água devem variar em torno de 90% do peso total do conteúdo (RUIZ, 1992; BELLI FILHO, 1995). Além dos fatores físico-químicos, é necessária a manutenção nutricional das bactérias com as quantidades necessárias de matéria carbonácea, N, fósforo e enxofre (NOGUEIRA, 1992). Os biodigestores devem ser construídos e a sua operação deve ser realizada com o intuito de viabilizar tais condições físico-químicas e biológicas.

2.4. PRODUÇÃO DE BIOGÁS E METANO NA SUINOCULTURA

2.4.1. O BIOGÁS E O METANO NA SUINOCULTURA

Na degradação anaeróbia, há geração de biogás devido à conversão de matéria orgânica da fase líquida para a fase gasosa. O biogás é constituído por uma mistura de CH_4 na concentração de 65-70%, CO_2 na concentração de 30-35% e em menores concentrações, H_2 , nitrogênio gasoso (N_2) e H_2S (OLIVEIRA, 2004). O CH_4 é considerado como uma forma de energia produzida através da biomassa, isto é, a matéria orgânica passível de ser utilizada para a geração de energia. (ITAIPU, 2008).

A Tabela 5 apresenta o potencial de emprego do biogás para produção de energia.

Tabela 5 - Relação comparativa entre biogás e os combustíveis usuais.

Biogás	Equivalência
1 m ³ de BIOGÁS	0,61 L de gasolina
	0,57 L de querosene
	0,55 L de óleo diesel
	0,45 kg de gás liquefeito
	0,79 L de álcool combustível
	1,54 kg de lenha
	1,43 kWh de energia elétrica

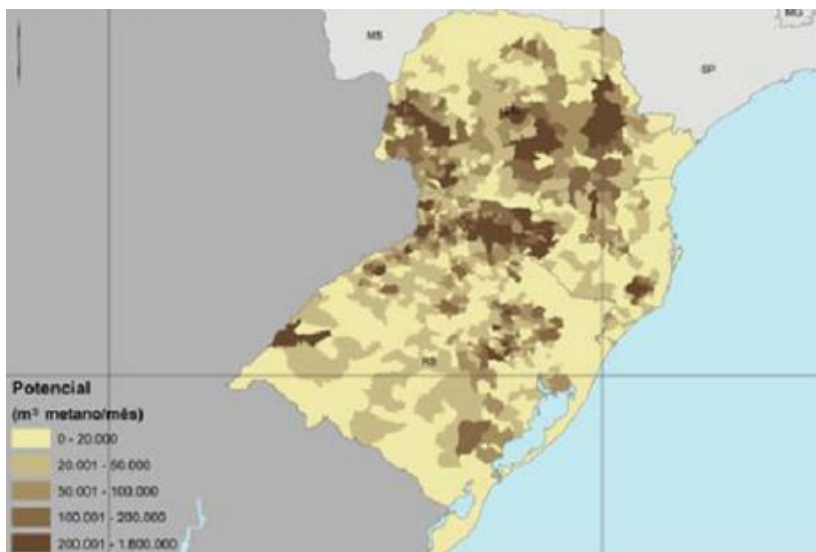
Fonte: Adaptado de Deganutti et al. (2002).

2.4.2. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE METANO

Na mistura do biogás, o CH₄ é o gás de maior interesse do ponto de vista energético devido ao seu maior potencial calorífico (DEGANUTTI et al., 2002). É um gás inodoro, incolor e facilmente dispersado, que, por ser extremamente inflamável, pode ser queimado para reduzir o efeito estufa por apresentar potencial de aquecimento do globo terrestre 21 vezes maior que o CO₂ (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2013), ou aproveitado para uso doméstico, em motores de combustão interna, sistemas de geração de energia elétrica ou térmica (OLIVEIRA et al., 2003).

A Figura 4 apresenta o potencial de produção de CH₄ proveniente da suinocultura na região sul do Brasil.

Figura 4 - Potencial de metano proveniente da suinocultura na região sul do Brasil.



Fonte: Coelho et al. (2008).

A produção de CH_4 pode ser obtida através de dados experimentais com base na coleta de gás ou calculada. De acordo com Chernicharo (2007), existem dois caminhos para estimar a produção de CH_4 a partir da degradação da matéria orgânica presente no substrato: através da composição química do substrato e através da Demanda Química de Oxigênio (DQO) degradada. Outro modelo determina a produção de CH_4 através da taxa máxima de produção a partir da concentração de SV no substrato e do TDH (CHEN; HASHIMOTO, 1978 apud NISHIMURA, 2009).

Estimativa da produção de metano a partir da DQO degradada

Pode-se estimar a produção de CH_4 pela degradação da matéria orgânica carbonácea (CHERNICHARO, 1997). A Equação 2 apresenta o cálculo simplificado da parcela de DQO convertida em CH_4 , desconsiderando-se a parcela da DQO convertida em biomassa. A DQO consumida pela produção de sulfetos na competição por parte de bactérias sulforedutoras não é considerada no cálculo.

$$DQO_{CH_4} = Q \cdot (S_0 - S) - Y_{obs} \cdot Q \cdot S_0$$

(Equação 2)

onde,

DQO_{CH_4} : carga de DQO convertida em CH_4 ($kg\ DQO_{CH_4} \cdot d^{-1}$);

Q : vazão de esgoto afluyente ($m^3 \cdot d^{-1}$);

S_0 : concentração de DQO afluyente ($kg\ DQO \cdot m^{-3}$);

S : concentração de DQO efluente ($kg\ DQO \cdot m^{-3}$);

Y_{OBS} : coeficiente de produção de sólidos no sistema, em termos de DQO (0,11 a 0,23 $kg\ DQO_{lodo}/kg\ DQO_{apl}$).

A Equação 3 apresenta o cálculo da vazão potencial de CH_4 produzida, a partir da carga orgânica de DQO convertida em CH_4 .

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{f(T)}$$

(Equação 3)

onde:

Q_{CH_4} : produção de metano ($m^3 \cdot d^{-1}$);

DQO_{CH_4} : carga de DQO removida no reator e convertida em CH_4 ($kg\ DQO \cdot d^{-1}$);

$f(T)$: fator de correção para a temperatura operacional do reator ($kg\ DQO \cdot m^{-3}$).

$$f(T) = \frac{P \cdot K_{DQO}}{R(273 - T)}$$

(Equação 4)

onde:

P : pressão atmosférica (1atm);

K_{DQO} : DQO correspondente por mol de CH_4 ($64g\ DQO \cdot mol^{-1}$);

R : constante dos gases ($0,08206\ atm \cdot L/mol \cdot K$);

T : temperatura operacional do reator ($^{\circ}C$).

A partir da eficiência do reator, ou da concentração final da DQO após degradação, pode-se estimar a produção de CH_4 , desconsiderando-se a carga de DQO que foi convertida em biomassa.

Estimativa da produção de metano a partir da concentração de SV no substrato

Os SV também têm responsabilidade na produção de biogás (SÀNCHEZ et al., 2005). Tal como referido anteriormente, na produção de suínos, a produção específica de biogás é de $0,45 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ de SV, para temperaturas variando entre 30 e 35°C (La Farge, 1995). Dal Mago (2009) referencia um valor de produção específica de biogás de $0,6048 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ SV}$ para temperaturas em torno de 25°C .

A sequência abaixo apresenta as equações necessárias para a estimativa da produção de CH_4 em determinada câmara de biodigestão em função da concentração de SV (CHEN; HASHIMOTO, 1978 apud NISHIMURA, 2009).

$$P = \left(\frac{B_0 \cdot SV_0}{\text{TDH}} \right) \times \left(\frac{1-k}{\text{TDH} \cdot \mu_m - 1 + k} \right)$$

(Equação 5)

onde,

P: produção de metano (m^3);

B_0 : taxa máxima de produção de metano ($\text{m}^3 \text{ CH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ SV}$);

SV_0 : concentração de SV do efluente ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$);

TDH: tempo de detenção hidráulica (d);

μ_m : taxa de crescimento máximo específico (d^{-1});

k: coeficiente cinético (adimensional).

De acordo com os mesmos autores, o parâmetro k e a taxa de crescimento máximo específico para dejetos suínos são dados pelas Equações 6 e 7.

$$k=0,5+0,0043 \cdot e^{0,051 \cdot SV_0}$$

(Equação 6)

$$\mu_m=0,013 \cdot T-0,129$$

(Equação 7)

onde:

T é a temperatura da biomassa (°C).

2.5. BIODIGESTORES E O TRATAMENTO DE DEJETOS SUÍNOS

O biodigestor é uma tecnologia de tratamento de dejetos utilizado para a conversão de matéria orgânica em biogás por via anaeróbia. De acordo com Magalhães (1980), os componentes ligados diretamente ao biodigestor são:

- a) Tanque de entrada: local de amostragem onde é feita a mistura do substrato;
- b) Tubo de carga: tubo condutor através do qual é feita a introdução do substrato no digestor;
- c) Digestor: reator onde ocorre a digestão anaeróbia da matéria orgânica;
- d) Septo: parede divisória de direcionamento do fluxo de efluentes dentro do digestor;
- e) Gasômetro: câmara onde o biogás produzido na fermentação é armazenado;
- f) Tubo guia: guia de deslocamento vertical do gasômetro devido a expansão ou compressão pela produção de biogás, apresentando-se apenas no biodigestor do modelo indiano;
- g) Tubo de descarga: conduto por onde o efluente digerido é expelido;
- h) Tanque de descarga: caixa de saída do efluente digerido; e,

i) Saída do biogás: tubulação instalada no gasômetro para saída do biogás. Possui uma válvula para controle da saída de gás.

No Brasil os biodigestores rurais tiveram maior desenvolvimento na década de 80, devido ao apoio dos Ministérios da Agricultura e Minas e Energia. Até 1998, foram construídas 8000 unidades de biodigestores dos modelos tipo indiano e chinês (ANDRADE; NINO; RANZI, 2002). Porém, de acordo com os mesmos autores, a falta de instrução técnica e a redução de verbas do programa dificultaram a propagação desta tecnologia.

De fato, a tecnologia de biodigestão anaeróbia é atrativa para o tratamento dos dejetos da suinocultura intensiva pela produção de CH_4 a partir de um subproduto da suinocultura, o dejetos suíno. Além do aproveitamento dos dejetos sob a forma de CH_4 , o biodigestor tem como vantagem: o isolamento dos dejetos dos animais, proporcionando a diminuição de riscos sanitários causados por moscas, parasitas e patógenos; redução de até 80% da carga orgânica; redução de odores; baixa produção de lodo; baixos custos operacionais e de investimento; e descentralização do tratamento de dejetos, proporcionando economia no seu transporte (OLIVEIRA; HIGARASHI; NUNES, 2004).

É importante ressaltar que o biofertilizante gerado no biodigestor não pode ser descartado diretamente nos corpos d'água por ainda apresentar alto potencial poluidor, sendo o seu uso agrícola desejável em substituição a fertilizantes inorgânicos como nutrientes às plantas e para manutenção do solo (SEGANFREDO, 2008).

A Tabela 6 mostra uma relação entre o número de matrizes de uma unidade de produção e o volume do biodigestor (m^3), a produção de biogás ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$) e a produção de biofertilizante ($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$).

Tabela 6 - Volume do biodigestor, produção de biogás e de biofertilizante em função do número de matrizes de uma unidade de produção de suínos

Nº de Matrizes	V biodigestor (m³)	Prod. biogás (m³·d ⁻¹)	Produção de biofertilizante (kg·d ⁻¹)
2	25	12	1000
24	50	25	2000
36	75	37	3000
60	125	62	5000

Fonte: Konzen (1983).

Os biodigestores podem ser classificados como do tipo **contínuo**, recebendo cargas diárias ou periódicas e descarregando o fermentado por vasos comunicantes durante o período de funcionamento ou do tipo **intermitente**, mantendo a matéria a ser degradada retida durante um determinado período de tempo. O biodigestor do tipo intermitente é esvaziado e recarregado novamente e possui normalmente grandes volumes (CASTANHO; ARRUDA, 2008).

Entre os modelos de biodigestores mais utilizados no Brasil, pode-se citar o modelo indiano, o modelo chinês e o modelo canadense.

2.5.1. MODELO INDIANO

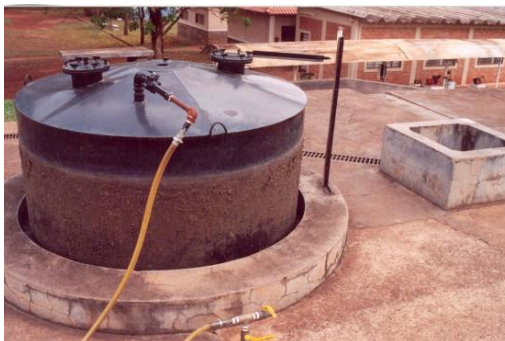
A Índia foi o primeiro país a instalar biodigestores para a produção de biogás de maneira sistemática. A primeira unidade foi construída em 1908 e em 1992, o país possuía por volta de 160 mil unidades instaladas (ANDRADE; NINO; RANZI, 2002) motivados pela insuficiência de combustíveis fósseis e pelo cenário social. De acordo com Nogueira (1992), o biodigestor modelo indiano é o mais comum e popular no meio rural no Brasil.

O modelo indiano possui uma campânula de metal como gasômetro, mergulhada na biomassa em fermentação ou em um selo d'água, e uma parede divisória para melhoria da circulação da matéria orgânica em digestão (DEGANUTTI et al., 2002). Segundo Deganutti et al. (2002), enquanto o gás produzido não é consumido, a campânula de

metal desloca-se verticalmente, mantendo a pressão em seu interior constante. Tal deslocamento da campânula é feito através de um eixo guia central (GUSMÃO, 2008). Como o gasômetro está disposto sobre o substrato ou sobre o selo d'água, há redução nas perdas da produção de gás. É um digestor de alimentação contínua e de fácil construção, embora seu gasômetro de metal possa encarecer o custo do produto final (GUSMÃO, 2008).

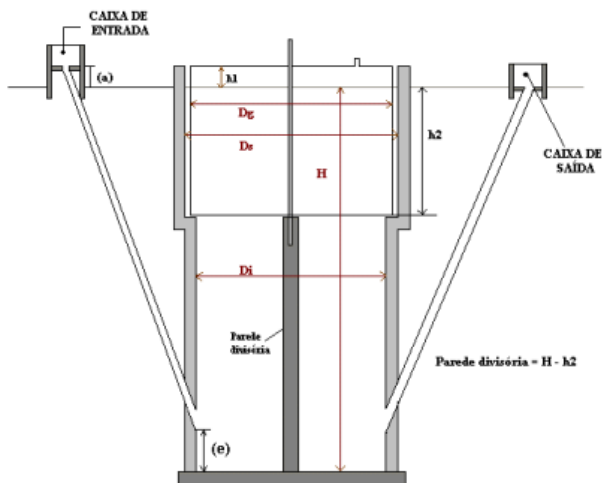
A Figura 5 mostra uma imagem de um biodigestor do modelo indiano.

Figura 5 - Biodigestor modelo indiano.



Fonte: Tecnologia e treinamento (2012).

A Figura 6 exibe a vista frontal em corte de biodigestores mesmo modelo.

Figura 6 - Corte de biodigestor modelo indiano.

Fonte: Deganutti et al. (2002).

A Tabela 7 define os critérios de projeto da Figura 6.

Tabela 7 - Definição das dimensões de digestores do modelo indiano.

Símbolo	Descrição
H	Altura do nível do substrato
Di	Diâmetro interno do biodigestor
Dg	Diâmetro do gasômetro
Ds	Diâmetro interno da parede superior
h1	Altura ociosa (reservatório de biogás)
h2	Altura útil do gasômetro
a	Altura da caixa de entrada
e	Altura da entrada da tubulação com o afluente

Fonte: Deganutti et al. (2002).

2.5.2. MODELO CHINÊS

O modelo chinês surgiu devido ao contexto econômico da China na Guerra Fria para manutenção da atividade econômica (descentralização) diante de um possível ataque nuclear. É um sistema de fermentação vertical de cúpula fixa de alta taxa (GASPAR, 2003). Pode ser considerado como um sistema rústico construído totalmente em alvenaria de tijolos ou em concreto e abaixo do nível do solo com teto impermeável destinado ao armazenamento do biogás. Funciona como prensa hidráulica, sendo o aumento da pressão devido ao acúmulo de biogás o responsável pelo deslocamento do substrato a digerir, da câmara de fermentação para a caixa de saída, e no sentido contrário para descompressão (GASPAR, 2003). No biodigestor modelo chinês, uma parcela do gás formado é liberada para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás. O substrato deverá ser fornecido continuamente com concentração de sólidos totais (ST) em 8% para evitar entupimento (DEGANUTTI et al., 2002).

A Figura 7 mostra uma imagem de um biodigestor do modelo Chinês.

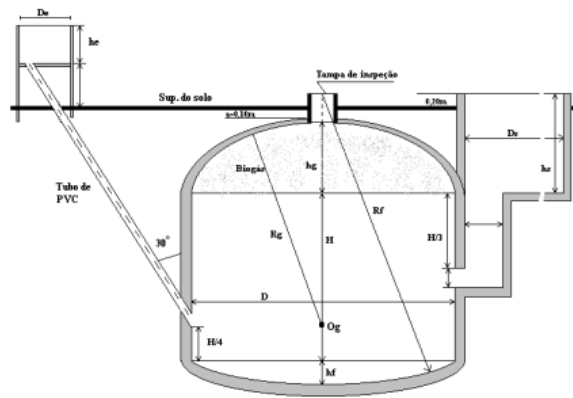
Figura 7- Foto de biodigestor modelo chinês.



Fonte: Castanho e Arruda (2008).

A Figura 8 exibe a vista frontal em corte de biodigestores mesmo modelo.

Figura 8 - Corte de biodigestor modelo chinês.



Fonte: Deganutti et al. (2002).

A Tabela 8 define os critérios de projeto da Figura 8.

Tabela 8 - Definição das dimensões de digestores do modelo chinês.

Símbolo	Descrição
D	Diâmetro do corpo cilíndrico
H	Altura do corpo cilíndrico
Hg	Altura da calota do gasômetro
hf	Altura da calota do fundo
Of	Centro da calota esférica do fundo
he	Centro da calota esférica do gasômetro
De	Altura da caixa de entrada
hs	Diâmetro da caixa de entrada
Ds	Altura da caixa de saída
A	Afundamento do gasômetro

Fonte: Deganutti et al. (2002).

Por estar enterrado, o modelo chinês requer boas práticas civis para construção da alvenaria, com técnica de escoramento dos próprios tijolos utilizados e da impermeabilização das paredes externas e internas do reator de modo a impedir contaminação do lençol freático por parte dos efluentes e de trincas e rachaduras na estrutura por parte da água existente no solo. Por outro lado, o biodigestor chinês possui como vantagem a proteção contra variações climáticas e o fato de não possuir partes metálicas em sua construção, o que reduz o custo de sua implantação e aumenta sua durabilidade (DEGANUTTI et al., 2002).

2.5.3. MODELO CANADENSE

O modelo canadense é atualmente, o mais utilizado nas propriedades suinícolas brasileiras (HAACK, 2009). De acordo com o mesmo autor, é um modelo de tipo horizontal com largura maior e uma profundidade menor do que o indiano, o que resulta em maior área de exposição solar. É considerado por alguns autores como uma lagoa anaeróbia coberta com baixa taxa. Pode possuir uma caixa de entrada e de saída, canalizando os dejetos em função da vazão que se deseja. Possui ainda, uma câmara de fermentação subterrânea revestida com material impermeabilizante e uma campânula superior para reter os gases produzidos (AVESUY, 2013).

A cúpula deste modelo é de plástico maleável tipo PVC que infla com a produção de biogás. Uma válvula reguladora pode controlar a pressão na qual o gás se encontra na campânula (HENN, 2005). O biodigestor deve prever ainda, uma drenagem de lodo (PERDOMO; OLIVEIRA; KUNZ, 2003). De acordo com Lindemeyer (2008), a sua implantação requer menor custo em relação aos biodigestores com campânulas metálicas ou de fibra de vidro. Por esta razão, Cunha (2007) concluiu que este modelo é o mais indicado para tratar grandes volumes de dejetos.

Alguns autores combinam a tecnologia de modelo canadense com pós-tratamento com lagoas de decantação ou pré-tratamento com

bioesterqueiras obtendo bons resultados de estabilização da matéria orgânica (HENN, 2005; OLIVER et al., 2008).

A Figura 9 mostra um biodigestor de 300 m³, modelo canadense utilizado em uma granja suinícola.

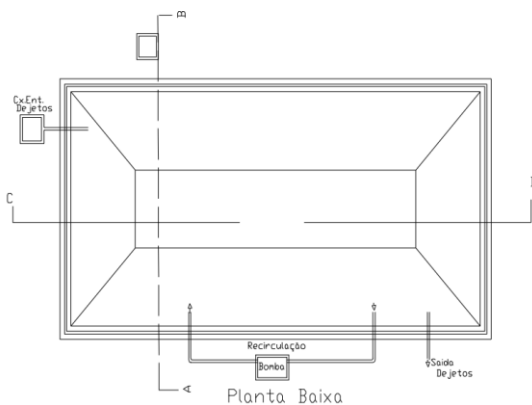
Figura 9 - Biodigestor modelo canadense.



Fonte: Oliveira (2005).

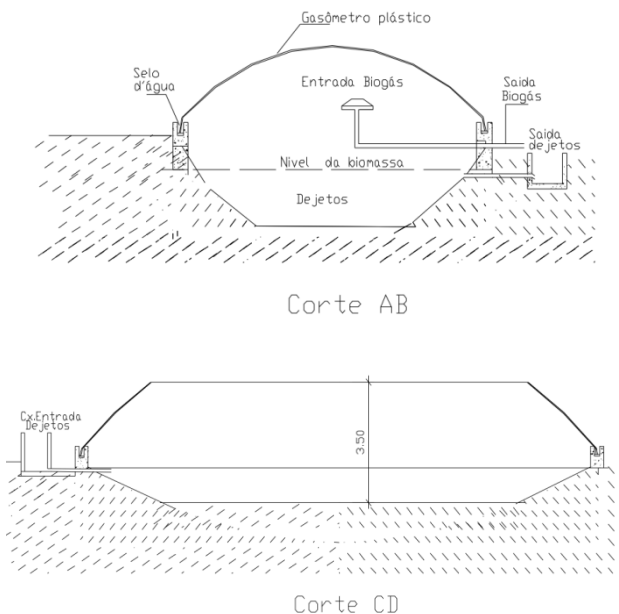
A Figura 10 e a Figura 11 apresentam, respectivamente, a planta e cortes deste tipo de biodigestor.

Figura 10 - Planta de biodigestor modelo canadense.



Fonte: Oliveira e Higarashi (2006).

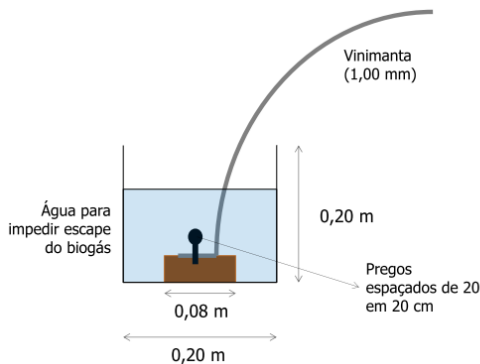
Figura 11 - Cortes de um biodigestor modelo canadense.



Fonte: Oliveira e Higarashi (2006).

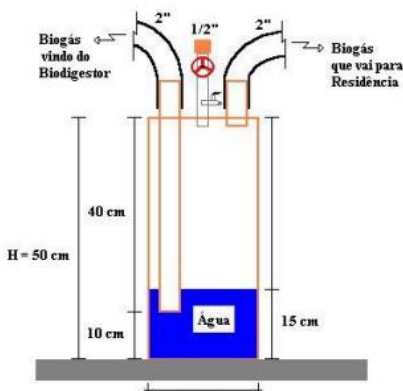
Pode-se observar na Figura 11 que ao redor do biodigestor existe um feixe hídrico. Tal estrutura tem como função amarrar a lona e impedir a saída do biogás em toda extensão do biodigestor. De acordo com AVESUY (2013), a ancoragem em biodigestores de volumes pequenos pode ser feita no solo, enterrando-se as lonas internas e externas, gastando-se para isso mais lona, mas economizando-se em outros materiais.

A Figura 12 exhibe um feixe hídrico em concreto construído durante a pesquisa de Henn (2005).

Figura 12 -Esquema do feixe hídrico de um biodigestor.

Fonte: Adaptado de Henn (2005).

De acordo com o mesmo autor, outro constituinte do biodigestor é o selo hídrico (SH). Localizado fora do biodigestor é um dispositivo que tem por objetivo impedir a saída do biogás da unidade, a menos que sua produção seja tal, que exerça uma pressão na água para que o mesmo seja expelido. Tal procedimento regula a pressão na qual o biogás é expelido. Quando o biogás sai, é captado por uma tubulação de 50 mm conectada em cima do SH conforme indicado na Figura 13.

Figura 13 - Detalhe do Selo Hídrico de um biodigestor do modelo canadense.

Fonte: Henn (2005).

Na captação de biogás, quando a operação se inicia, deve-se liberar o gás até a manta ficar cheia pela primeira vez dado que o biogás produzido estará misturado com oxigênio, o que gera risco de explosão (OLIVER et al., 2008). Tal procedimento é feito fechando-se a saída de biogás e expulsando o gás interno sem a sua queima. Quando a manta for inflada pela segunda vez, o biogás gerado poderá ser queimado normalmente.

Sobre o seu desempenho, a EMBRAPA afirma que este reator é de alimentação e drenagem de lodo em regime contínuo produzindo um biofertilizante que possui concentrações 50% de ST; 80% de DBO_5 ; 25% de N; 60% de P; e 45% de K menores do que o efluente bruto. Tais nutrientes tendem a permanecer no lodo que deve ser retirado com determinada periodicidade. A produção de biogás pode variar de 0,25 a 0,60 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ para cada m^3 da câmara de digestão (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2013).

2.6. DIMENSIONAMENTO DE DIGESTORES DO MODELO CANADENSE

De maneira simplificada, o biodigestor modelo canadense possui os seguintes componentes (AVESUY, 2013):

1. Caixas de passagem na entrada e saída dos dejetos;
2. Câmara de fermentação;
3. Tubulação de entrada e saída para fluxo do dejetos;
4. Campânula em manta de PVC;
5. Tubulação de saída do biogás; e,
6. Conjunto de bombas centrífugas.

2.6.1. CAIXA DE PASSAGEM

Como o fluxo dos biodigestores é contínuo, não há necessidade de construção da caixa de entrada para estoque de dejetos à entrada e à saída do biodigestor. Projetam-se apenas caixas de passagem para inspeção (AVESUY, 2013).

2.6.2. CÂMARA DE FERMENTAÇÃO

A câmara de fermentação pode ou não ter revestimento em alvenaria (protege e ajuda na colocação da manta). O volume do digestor pode ser determinado através do TDH (tempo que o efluente deve permanecer no reator para se atingir a degradação esperada) e através da C_v que se deseja aplicar (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

A Equação 8 apresenta o TDH, que pode ser determinado como o inverso da Carga Hidráulica Volumétrica (CHV) (CHERNICHARO, 2007).

$$TDH = \frac{V}{Q}$$

(Equação 8)

onde:

TDH: Tempo de detenção hidráulico (dias);

V: volume útil do reator (m^3); e,

Q: vazão ($m^3 \cdot d^{-1}$);

O TDH depende da capacidade das bactérias em degradar a matéria orgânica. Diversos autores utilizam o TDH da digestão anaeróbia para dejetos suínos entre 30 a 45 dias (OLIVEIRA, 2004; RANZI, 2004; HENN, 2005; ALVES, 2007).

A C_v é definida como a quantidade de massa aplicada diariamente ao reator, por unidade de volume do mesmo (CHERNICHARO, 2007), conforme a Equação 9.

$$C_v = \frac{Q \cdot S_0}{V}$$

(Equação 9)

onde:

C_v : carga orgânica volumétrica ($kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$);

Q: vazão ($m^3 \cdot d^{-1}$);

S_0 : concentração de substrato afluente ($kg \cdot m^{-3}$);

V: volume total do reator (m^3).

Metcalf e Eddy (2003) recomendam que sejam aplicadas C_v entre 0,5 a 1,6 kg $SV \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$ para digestores de baixa carga. La Farge (1995) afirma que a C_v média aplicada em reatores de fluxo contínuo deve ser de 1,9 kg $SV \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$. Dal Mago (2009) encontrou valores de C_v de 0,49 e 1,68 (primavera e inverno) em UCT de suínos.

A equação 10 apresenta o cálculo da eficiência do tratamento que também é utilizada para dimensionamento.

$$E(\%) = \left(\frac{S - S_0}{S} \right) \times 100$$

(Equação 10)

onde:

E: eficiência do tratamento (%);

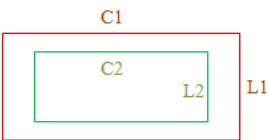
S_0 : concentração de substrato afluyente ($kg \cdot m^{-3}$);

S: concentração de substrato efluente ($kg \cdot m^{-3}$).

No que se refere à altura útil do biodigestor, são encontrados os seguintes valores na literatura: 3,00 m para biodigestor (HENN, 2005); 4,00 m para digestor de lodo (ALVES, 2007); 3,00 a 5,00 m para lagoas anaeróbias (SILVA, 1977 apud OLIVEIRA et al., 2003) e 1,00 a 1,50 m para biodigestor (OLIVER et al., 2008).

Conforme a Tabela 9, em relação à câmara de fermentação retangular, há um talude no fundo da câmara. A relação entre o comprimento e a largura do biodigestor varia de 2,7 a 3,0 para as maiores dimensões do talude e de 4,3 a 6,0 para as menores dimensões (OLIVER et al., 2008). Freitas (2011) acompanhou a implantação de biodigestores que possuíam uma relação $C1/L1$ (maiores dimensões) variando de 1,8 a 3,3 e relação $C2/L2$ (menores dimensões) variando de 3,3 a 4,9.

Tabela 9 - Relação entre comprimento e largura para a câmara de fermentação quadrada.

Dimensões do talude	C1	L1	C1/L1	C2	L2	C2/L2
 <p>O diagrama mostra um retângulo externo maior, rotulado C1 no topo e L1 à direita. Dentro dele, há um retângulo interno menor, rotulado C2 no topo e L2 à direita.</p>	3,5	1,2	2,9	3,0	0,7	4,3
	6,0	2,0	3,0	4,8	0,8	6,0
	7,0	2,5	2,8	5,5	1,0	5,5
	8,0	3,0	2,7	5,0	1,0	5,0
	10,0	3,5	2,9	8,0	1,5	5,3

Fonte: Oliver et al. (2008).

2.6.3. TUBULAÇÕES

Devem ser previstas tubulações e conexões para os seguintes usos do projeto:

1. Abastecimento e drenagem de lodo;
2. Sistema de armazenamento, transporte e distribuição do efluente digerido; e,
3. Sistema de transporte e conversão do biogás.

2.6.4. BOMBAS CENTRÍFUGAS

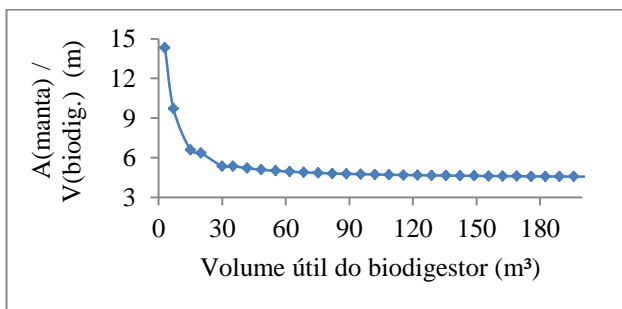
O fluxo de dejetos pode ser gerado através de descargas por gravidade, quando o biodigestor é projetado em uma cota inferior ao sistema de produção de suínos, ou através de bombas de recalque. As bombas de recalque são dimensionadas comparando-se a altura manométrica do sistema com a altura manométrica que a bomba poderá recalcar (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2004).

2.6.5. CAMPÂNULA EM MANTA

A manta de PVC que cobre o biodigestor deve ter volume suficiente para armazenar o gás produzido sem que este exerça pressão na manta. A área da manta varia com o volume do biodigestor e a quantidade de biogás que ele poderá produzir. (OLIVER et al., 2008).

A Figura 14 foi feita com base em uma curva de tendência criada com os valores de uma tabela para a área utilizada de manta plástica.

Figura 14 - Dimensionamento da área da manta a ser utilizada por volume de biodigestor.



Fonte: Adaptado de Oliver et al. (2008)

A Figura 15 apresenta um biodigestor em fase de implantação. São visualizados os drenos de lodo, o feixe hídrico em concreto e a caixa de saída que receberá o digerido.

Figura 15 – Biodigestor após etapa de implantação dos drenos de lodo.
(Foto tirada antes da colocação do geotêxtil)



Fonte: AVESUY (2013).

2.7. CUSTO DA IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTORES

Oliveira et al. (2005) afirmam que a possibilidade de utilização do biogás para a produção de energia elétrica agrega valor ao dejetos e diminui os custos com o seu tratamento. Ainda segundo os mesmos autores, as fases que demandam investimentos financeiros para uma obra estão associadas aos materiais necessários para a implantação da unidade de tratamento e às atividades desenvolvidas, bem como a mão-de-obra necessária para sua construção. Os autores alegam que o maior custo do biodigestor do modelo canadense está relacionado com a aquisição da manta de 1,0 mm de espessura.

Os serviços de mão-de-obra (MDO) necessários são os seguintes (AVESUY, 2013):

1. Escavação de buraco no solo com as medidas definidas no dimensionamento;
2. Escavação de buracos para colocação de caixa de entrada e saída de biofertilizante;
3. Abrir a manta plástica de PCV sobre o buraco;
4. Colocar tubos e colar mangas a manta no biodigestor;
5. Fixar o perímetro da manta plástica, enterrando-a ou com um selo d'água;
6. Instalar tubulações de biogás; e,
7. Iniciar a carga.

A Tabela 10 apresenta alguns preços fornecidos pela empresa SANSUY em janeiro de 2008. Os valores exibem-se compatíveis com o estipulado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2013), que refere o custo de R\$ 150,00 por m³ de câmara de digestão.

Tabela 10 - Área total e preço da manta de laminado de PVC flexível

Volume (m ³)	Área total (m ²)	Preço (R\$)
3	43	712,00
7	68	1127,00
15	99	1640,00
20	127	2104,00
30	161	2666,00

Fonte: Oliver et al. (2008)

Lindemeyer, (2008) utilizou para seus estudos de viabilidade econômica um biodigestor canadense em alvenaria de 300 m³, com custo total de R\$ 80.000,00 (R\$266,67/m³ de câmara do biodigestor).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTORES DO MODELO CANADENSE

O dimensionamento de biodigestores modelo canadense foi realizado considerando-se dois cenários distintos de produção de dejetos para UCT: o cenário 1, com $7 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ correspondente ao adotado pelo órgão ambiental para o licenciamento, que representa a quantidade total de dejetos produzidos por suíno em uma granja (água gasta no manejo mais excreta) (OLIVEIRA, 1993; FUNDAÇÃO MEIO AMBIENTE, 2009), e o cenário 2 com $5 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ (TAVARES, 2012). O valor considerado no cenário 2 corresponde à soma aproximada do volume de dejetos determinado na pesquisa ($4,58 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$) com o volume médio de água gasto na lavagem das unidades suinícolas ($0,57 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$). As características de concentração de sólidos do dejetos no cenário 1 foram retiradas de autores da mesma época de Oliveira (1993). As características do dejetos do cenário 2 foram retiradas de Tavares (2012).

O número de animais (hipotético) indicados para as granjas avaliadas em ambos os cenários, representa o pequeno, médio e grande produtor em Santa Catarina, especificamente no Meio Oeste Catarinense que detêm aproximadamente 75% do efetivo suíno no estado (BRASIL, 2011). Após o levantamento de todos os dados indicados anteriormente, foram realizados os cálculos necessários para o dimensionamento.

A Tabela 11 mostra as equações utilizadas nos cálculos efetuados para o dimensionamento do volume útil de biodigestores modelo canadense através do TDH e da Cv. As equações são exibidas na sequência da sua utilização.

Tabela 11 - Equações utilizadas no dimensionamento do volume útil de biodigestores.

Ordem de utilização no cálculo	Equação ¹	Localização na revisão bibliográfica	Referência
1 ^a	$Q=N \cdot q_i$	Vazão (m ³ ·d ⁻¹)	-
2 ^a ^a	$V_u=TDH \cdot Q$	(Equação 8)	Chernicharo (2007)
3 ^a ^b	$V_u=\frac{Q \cdot SV_0}{C_v}$	(Equação 9)	

¹ Os parâmetros indicados em cada equação foram descritos na revisão bibliográfica;

^a Volume útil do digestor determinado através do parâmetro TDH;

^b Volume útil do digestor determinado através do parâmetro C_v.

A Tabela 12 exibe os valores adaptados e utilizados no cálculo do dimensionamento dos biodigestores para os parâmetros presentes nas equações.

Tabela 12 – Parâmetros utilizados no cálculo do dimensionamento dos biodigestores.

Parâmetro		Valor adotado	Referência
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica	30 e 35 dias	Oliveira (2005)
Cv	Carga Orgânica Volumétrica	1,5 kg SV.m ⁻³ .d ⁻¹	La Farge (1995); Metcalf e Eddy (2003)
N	Número de suínos	de 300 a 1200	Tavares (2013)
q₁	Vazão de dejetos produzida por suíno para o Cenário 1	7 L.suíno ⁻¹ .d ⁻¹	Oliveira (1993); FATMA (2009)
q₂	Vazão de dejetos produzida por suíno para o cenário 2	5 L.suíno ⁻¹ .d ⁻¹	Tavares (2012)

3.2. CÁLCULO DA PRODUÇÃO POTENCIAL DE METANO

A Tabela 13 mostra as equações utilizadas nos cálculos da produção potencial de CH₄, sendo exibidas na sequência de uso.

Tabela 13 - Equações utilizadas no cálculo da produção potencial de CH₄.

Ordem de utilização no cálculo	Equação ¹	Equação (revisão bibliográfica)	Referência
4 ^a	$E(\%) = \frac{S - S_0}{S}$	(Equação 10)	Chernicharo (2007)
5 ^a	$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{f(T)}$	(Equação 3)	
6 ^a	$DQO_{CH_4} = Q \cdot (S_0 - S) - Y_{obs} \cdot Q \cdot S_0$	(Equação 2)	
7 ^a	$f(T) = \frac{P \cdot K_{DQO}}{R(273 - T)}$	(Equação 4)	
8 ^a	$P = \left(\frac{B_0 SV_0}{TDH} \right) \cdot \left(\frac{1}{TDH \cdot \mu_m - 1 + k} \right)$	(Equação 5)	Chen e Hashimoto (1978) apud Nishimura (2009)
9 ^a	$k = 0,5 + 0,0043 \cdot e^{0,051 \cdot SV_0}$	(Equação 7)	
10 ^a	$\mu_m = 0,013 \cdot T - 0,129$	(Equação 7)	

¹ Os parâmetros indicados em cada equação foram descritos na revisão bibliográfica.

É importante referir que tanto a Equação 6 como a Equação 7 possuem a variável física temperatura como fator determinante para a produção gasosa e, portanto, com influência na eficiência do tratamento da digestão anaeróbia (BELLI FILHO, 1995).

A Tabela 14 exhibe os valores adaptados para os parâmetros utilizados no cálculo.

Tabela 14 – Parâmetros utilizados no cálculo da produção potencial de CH₄.

Parâmetro		Valor adotado	Referência
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica	30 e 35 dias	Oliveira (2005)
N	Número de suínos	de 300 a 1200	Tavares (2013)
T	Temperatura	25° C	Gusmão (2008); Dal Mago (2009)
E (%) _{DQO}	Eficiência de remoção de DQO	80%	EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (2013)
E (%) _{SV}	Eficiência de remoção de SV	92%	Henn (2005); Dal Mago (2009)
$\frac{P \cdot K_{DQO}}{R}$	Constante CNTP	779,92	Chernicharo (2007)
B ₀	Taxa de conversão de SV em metano	0,6048 m ³ CH ₄ ·kg ⁻¹ SV	Dal Mago (2009)

Y_{obs}	Coeficiente de produção de sólidos no sistema em termos de DQO	$0,15 \text{ kg SST} \cdot \text{kg DQO}_{apl}^{-1}$	Chernicharo (1997)
q_1	Vazão de dejetos produzida por suíno para o Cenário 1	$7 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	Oliveira (1993)
DQO_1	Demanda Química de Oxigênio para o cenário 1	$23,6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$	Silva (1996); Medri (1997)
SV_1	Sólidos Voláteis para o cenário 1	$13,4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$	Silva (1996); Medri (1997)
q_2	Vazão de dejetos produzida por suíno para o cenário 2	$5 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	Tavares (2012)
DQO_2	Demanda Química de Oxigênio para o cenário 2	$79,6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$	Tavares (2012)
SV_2	Sólidos Voláteis para o cenário 2	$45,7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$	Tavares (2012)
$\frac{[CH_4]}{\text{biogás}}$	Proporção entre metano e biogás gerado na digestão de dejetos suínos	0,7	Oliveira (2004)

Os resultados obtidos a partir das equações exibidas anteriormente para a produção potencial de CH_4 foram relacionados aos resultados apresentados na literatura, para a produção de CH_4 em função do número de suínos instalados na granja ($\text{m}^3 \text{CH}_4 \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) e em função dos SV removidos durante o processo de biodigestão anaeróbio ($\text{m}^3 \text{CH}_4 \cdot \text{Kg SV}_{\text{removido}}$).

A relação entre a produção potencial de CH_4 e a produção equivalente de energia, tanto em forma de óleo diesel como de energia elétrica foi observada para comparação. Para tal, foram consideradas as seguintes relações: 1 m^3 de biogás produz o equivalente a 0,55 L e 1,43 kWh de óleo diesel e de energia elétrica, respectivamente (DEGANUTTI et al., 2002). Considerou-se a concentração de 70% de CH_4 no biogás formado para a estimativa (OLIVEIRA, 2004).

3.3. ANÁLISE DOS CUSTOS DE INSTALAÇÃO DE BIODIGESTORES

A análise dos custos de instalação de biodigestores foi realizada para o cenário 1 e cenário 2 em UCT, com 4 diferentes efetivos instalados (300, 600, 900 e 1200 suínos). Para a obtenção do material e custos para instalação foram consultadas diversas empresas fabricantes de biodigestores modelo canadense. A empresa AVESUY de Chapecó (Oeste Catarinense) foi a empresa que forneceu os valores necessários para a análise de custos.

O dimensionamento para instalação de biodigestores modelo canadense foi projetado com dois tipos de amarração entre a lona inferior e a superior: ancoragem em viga de concreto (AV) e a ancoragem em solo (AS).

A Tabela 15 descreve os itens que foram orçados pela AVESUY para a instalação de biodigestores com amarração entre a lona inferior e superior do tipo AV. Para o tipo AS torna-se necessário

excluir os seguintes itens: 2 - Brocas; 3 - Vigas de concreto armado; 11 - Parafuso Inox 3/8" com chumbador químico; e 12 - Chapa Zincada 3/16x2".

Tabela 15 - Itens do biodigestor do modelo canadense.

Item	Descrição
1	Terraplanagem e escavação
2	Brocas
3	Vigas em concreto armado
4	Caixa de passagem
5	Tubo de limpeza - PVC 150 mm
6	Tubo de entrada e saída - PVC 150 mm
7	Tubo dreno DN 65
8	Geotêxtil G150
9	Manta Inferior - PVC 0,80 mm
10	Manta Superior - PVC 1,00 mm
11	Parafuso Inox 3/8" com chumbador químico
12	Chapa Zincada 3/16x2"
13	Registro PVC 75 mm
14	Válvula de Segurança
15	Mão-de-obra
16	Bomba Elétrica 5 cv
17	Tubo PVC 3" PN 60

Fonte: Adaptado de AVESUY (2013)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTORES

A primeira etapa de análise da viabilidade de uma tecnologia de tratamento de dejetos é a determinação do seu volume. Posteriormente, em uma segunda etapa devem ser analisados os custos de implantação e a sua operação perante o retorno socioambiental e econômico que a instalação acarretará.

Com base nos dois cenários apresentados no estudo foram dimensionados biodigestores do modelo canadense para o tratamento de dejetos produzidos nas granjas descritas anteriormente para um efetivo animal entre 300 e 1200 suínos.

A Tabela 16 apresenta os valores de vazão diária produzidas nas granjas de crescimento-terminação consideradas para o cenário 1 e para o cenário 2, respectivamente.

Tabela 16 - Vazão diária de dejetos produzidos para o cenário 1 e cenário 2.

Nº suínos na Granja	Vazão diária ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	
	Cenário 1	Cenário 2
300	2,1	1,5
600	4,2	3,0
900	6,3	4,5
1200	8,4	6,0

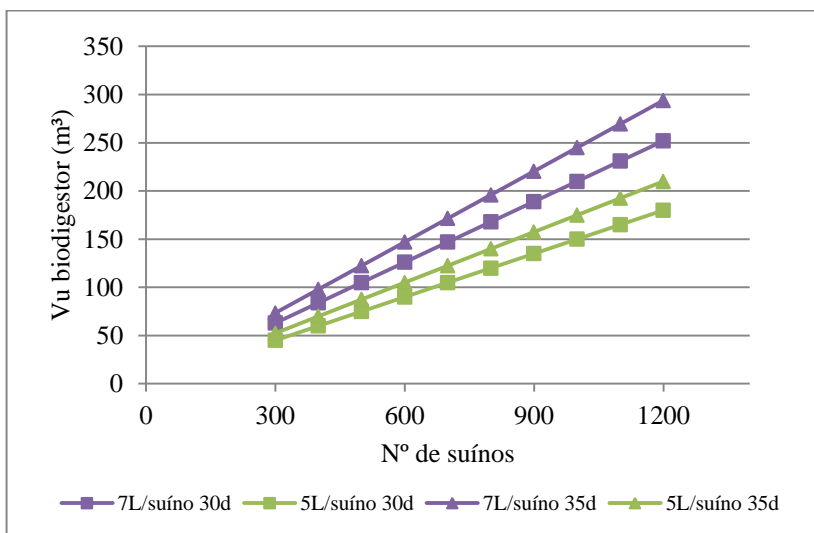
Cenário 1: $7 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$; **Cenário 2:** $5 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

Os resultados da vazão de dejetos de acordo com o número de animais instalados nas unidades de produção, exibidos na Tabela 16, mostram que perante os dois cenários estudados, o segundo apresentou uma vazão diária de dejetos inferior comparativamente ao primeiro em aproximadamente 29%.

4.1.1. PARÂMETRO DE PROJETO: TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA (TDH)

Para o dimensionamento do volume útil dos biodigestores foram utilizados diferentes TDH: 30 e 35 dias (cenário 1 e cenário 2), considerando as granjas com efetivo médio instalado entre 300 e 1200 suínos em fase de crescimento e terminação. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 16 e os dados brutos para observação são exibidos no Apêndice 1.

Figura 16 - Dimensionamento de biodigestores com TDH = 30 e TDH = 35 dias para granjas com efetivos instalados entre 300 e 1200 animais.



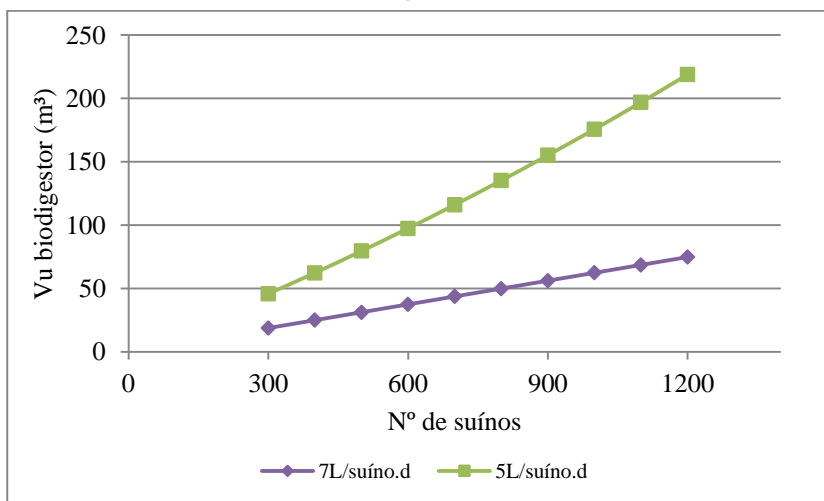
Os resultados apresentados na Figura 16 indicam que os volumes úteis dos biodigestores para o cenário 1 são superiores comparativamente aos biodigestores do cenário 2 (para ambos os períodos considerados de TDH). Esta diferença no volume útil aumenta na medida em que o número de animais instalados nas granjas é maior e, por conseguinte, a vazão diária de dejetos produzidos. Em relação às granjas avaliadas, a diminuição no volume útil é de 29% entre o cenário 1 e o cenário 2, tal como já indicado anteriormente. Da análise da figura

observa-se ainda uma aproximação do volume útil dos biodigestores quando estes são dimensionados com TDH de 30 dias no cenário 1 e o TDH de 35 dias para o cenário 2. Tal fato ressalta a importância do volume de dejetos produzidos pelos suínos diariamente para o dimensionamento das unidades de tratamento, e assim, para o valor do parâmetro de projeto a adotar.

4.1.2. PARÂMETRO DE PROJETO: CARGA ORGÂNICA VOLUMÉTRICA (C_v)

A Figura 17 apresenta os resultados comparativos para biodigestores dimensionados com $C_v = 1,5 \text{ kg SV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, para ambos os cenários. A tabela com os dados do dimensionamento a partir do parâmetro de projeto em avaliação (C_v) para o cenário 1 e cenário 2 encontra-se no Apêndice 2.

Figura 17 – Resultados comparativos para dimensionamento de biodigestores com $C_v = 1,5 \text{ kg SV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$.



A Figura 17 mostra que ao contrário do discutido no dimensionamento através do TDH, no dimensionamento realizado

através da C_v , os biodigestores que apresentam maior volume são os dimensionados para o cenário 2 ($5 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$). Para o cenário 1, utilizou-se a concentração de SV de $13,4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (SILVA, 1996; MEDRI, 1997). Para o cenário 2, utilizou-se o valor de $45,7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (TAVARES, 2012).

Sendo a C_v constante, o volume passa a ser função apenas da vazão e da concentração de SV. A concentração de SV no cenário 1 corresponde a 0,29 o cenário 2 e o volume de dejetos produzidos no cenário 1 a 1,4 vezes o cenário 2. Assim, observa-se um volume útil do biodigestor no cenário 1 em função da C_v adotada menor ao necessário para o cenário 2. A concentração de SV diminui em maior quantidade do que a vazão aumenta, conforme mostrado na Equação 14.

$$R_{SV} \cdot R_Q \neq 1$$

$$0,29 \cdot 1,4 = 0,40 \neq 1$$

Equação 14

onde,

R_{SV} : razão entre concentrações de SV do cenário 1 em relação ao cenário 2, e

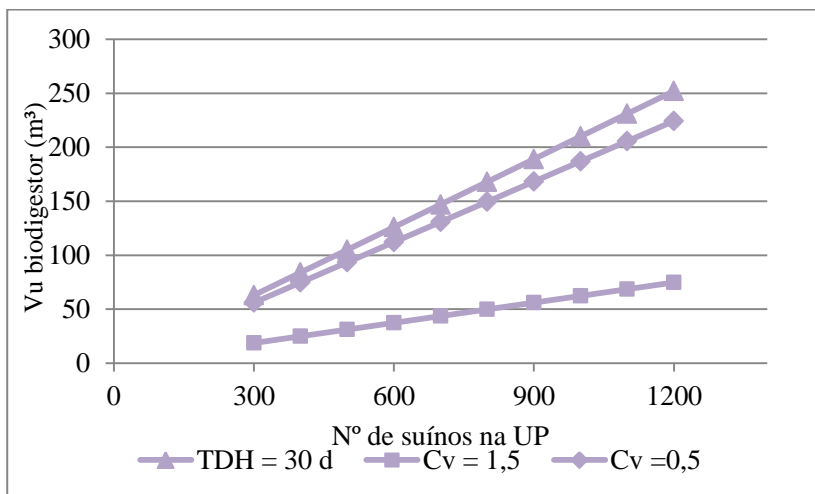
R_Q : razão entre vazão do cenário 1 em relação ao cenário 2.

É importante referir que a concentração de SV utilizada para ambos os cenários foram obtidos experimentalmente em diferentes estudos com diferença temporal de 15 anos. Tal diferença na concentração de sólidos deve-se à evolução científica, técnica e tecnológica observada na suinocultura que levou à produção de dejetos mais concentrados (sistemas e modelos de produção, equipamentos para a ingestão de água e ração, genética, manejo diário, nutrição e aspectos sanitários) (TAVARES; OLIVEIRA; BELLI FILHO, 2012).

4.1.3. COMPARAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DE PROJETO: TDH E CV

A Figura 18 apresenta os resultados comparativos para o volume útil de biodigestores do cenário 1 considerando-se os parâmetros de projeto: TDH de 30 dias e C_v de $1,5 \text{ kg SV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$. Uma vez que a concentração de sólidos presentes no dejetos do cenário 1 era baixa (volume de $7 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$), fez-se ainda uma comparação com outro valor para a C_v encontrada na literatura, de $0,5 \text{ kg SV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ (METCALF; EDDY, 2003).

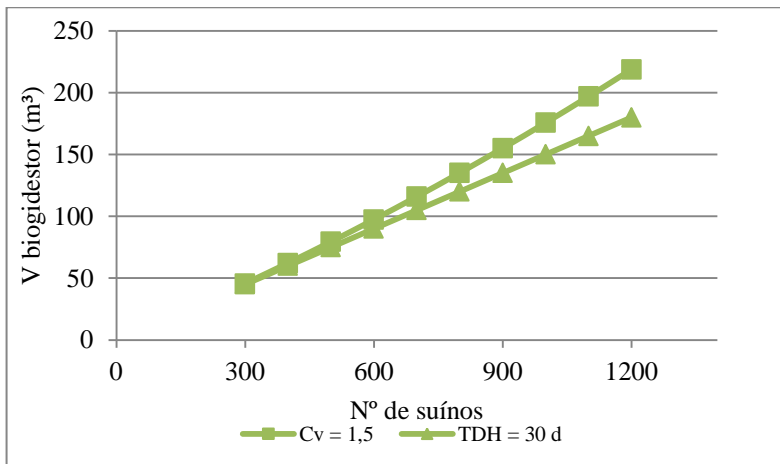
Figura 18 – Resultados comparativos para o dimensionamento de biodigestores para o cenário 1 considerando-se: TDH de 30 dias e C_v de 0,5 e $1,5 \text{ kg SV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$.



Os resultados comparados na Figura 18 mostram que o valor adotado para a C_v de $1,5 \text{ kg SV} \cdot \text{m}^{-3}$ resulta no menor volume útil para o biodigestor no cenário 1. No entanto, verifica-se que caso seja considerado um TDH de 30 dias, o volume do biodigestor tem que ser maior e a C_v de entrada no digestor menor (próxima a $0,5 \text{ kg SV} \cdot \text{m}^{-3}$), funcionando o biodigestor com menor carga (Equação 3 da Tabela 11).

A Figura 19 exibe os resultados comparativos para o volume útil de biodigestores considerando-se os parâmetros de projeto: TDH de 30 dias e C_v de $1,5 \text{ kg SV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ para o cenário 2 ($5 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$).

Figura 19 - Resultados comparativos para o dimensionamento de biodigestores para o cenário 2 considerando-se: TDH de 30 dias e C_v de $1,5 \text{ kg SV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$.



Os resultados comparados na Figura 19 mostram que o valor adotado para a C_v de $1,5 \text{ kg SV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ resulta em um volume útil para o biodigestor no cenário 2, semelhante ao determinado para TDH de 30 dias, em granjas com até 600 suínos instalados. Para efetivos superiores e dados os parâmetros adotados, o TDH dimensiona biodigestores de volume útil menor.

4.2. PRODUÇÃO POTENCIAL DE METANO

4.2.1. PRODUÇÃO POTENCIAL DE CH_4 A PARTIR DA DQO E DA CV

A Figura 20 e a Figura 21 apresentam respectivamente, os resultados da produção potencial de CH_4 em função da DQO e SV para

ambos os cenários, com recurso à Equação 6 e Equação 7. A tabela com os dados da produção potencial encontra-se no Apêndice 3.

Figura 20 - Produção potencial de metano em função da DQO (Equação 6) para os cenários estudados.

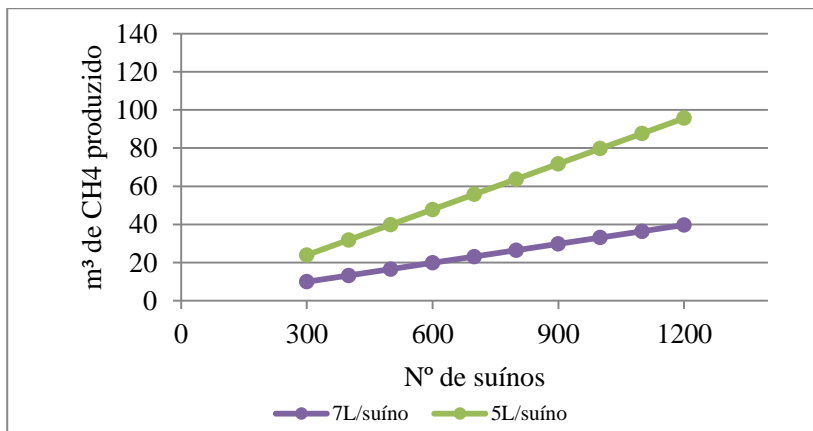
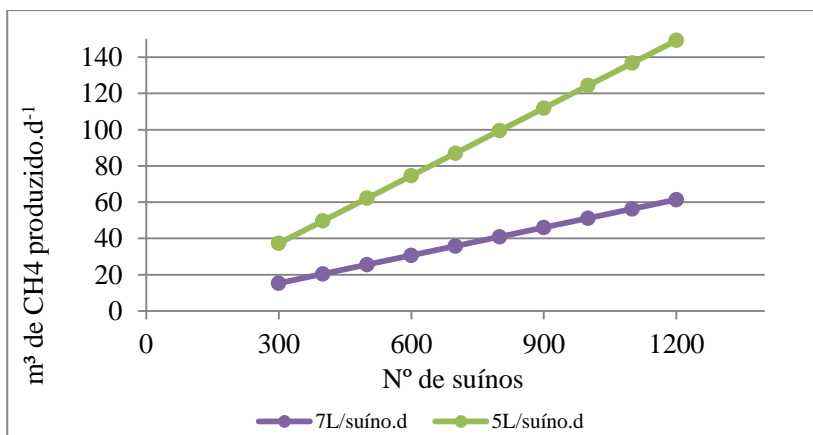


Figura 21 - Produção potencial de metano em função dos SV (Equação 7) para os cenários estudados.



As figuras anteriores permitem observar que a produção potencial de CH_4 com recurso às duas equações é sempre superior no cenário 2. É possível verificar que o dejetos mais concentrado (cenário 2)

é aquele que apresenta uma maior produção por suíno instalado na granja. Para as duas equações adotadas, a produção de metano do cenário 2 é maior em uma proporção aproximada a 2,42.

A Tabela 17 mostra os resultados da produção potencial de CH_4 por suíno instalado na granja.

Tabela 17 - Produção potencial de CH_4 por suíno instalado na granja.

Equação utilizada	$\text{m}^3 \text{CH}_4 \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	
	cenário 1	cenário 2
Equação 6	0,033	0,080
Equação 7	0,051	0,124

O valor para a produção potencial em função dos SV no cenário 2 ($5 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) enquadra-se nos resultados medidos em campo por Dal Mago (2009), que variam entre 0,101 e $0,150 \text{ m}^3 \text{CH}_4 \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, sendo que no verão há maior produção de CH_4 . Lenz (1980) apud Zago (2003) encontrou uma relação de $0,143 \text{ m}^3 \text{CH}_4 \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, resultado também próximo aos determinados no presente estudo.

Em relação ao cenário 1 ($7 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) os resultados obtidos foram bastante inferiores, podendo-se justificar os mesmos pela baixa concentração de matéria orgânica presente no dejetos devido à sua diluição (LA FARGE, 1995; SANCHEZ, 2005; CHERNICHARO, 2007; GUSMÃO, 2008; DAL MAGO, 2009). De acordo com Tavares (2012), tal diluição justifica-se pelo excesso de água utilizado no manejo dos suínos em aparelhos de dessedentalização e a limpeza das baias.

Para o cálculo realizado com as duas equações, observa-se igualmente, uma maior produção potencial de CH_4 do cenário 2 face ao cenário 1. Isto ocorre devido à diluição do dejetos do cenário 1 por excesso de água, o que deixa o dejetos com menor concentração de sólidos, e, portanto, menor potencial de produção de CH_4 .

A Tabela 18 apresenta o cálculo da produção específica de metano (PEM) para ambos os cenários por kg de $\text{SV}_{\text{removido}}$ para uma eficiência hipotética de 92% de remoção de SV (HENN, 2005).

Tabela 18 - Média da produção potencial de metano em função dos $SV_{\text{removidos}}$.

Equação utilizada	$m^3 CH_4 \cdot kg SV_{\text{removido}}$	
	cenário 1	cenário 2
Equação 6	0,385	0,379
Equação 7	0,595	0,591

Os valores apresentados na Tabela 18 indicam que a produção de CH_4 por kg de SV_{removido} , permanece constante independentemente da variação do CH_4 produzido em cada cenário. Estes resultados mostram a proporcionalidade que existe entre os SV presentes nos dejetos suínos e a quantidade de CH_4 produzida. Alguns autores encontraram valores médios experimentais similares e até superiores, de 0,52 a 0,72 $m^3 CH_4 \cdot Kg SV_{\text{removido}}$ (CHAE, 2008; DAL MAGO, 2009).

O parâmetro B_0 utilizado na Equação 7 é adotado de Dal Mago (2009), porém observa-se que ocorre uma variação na produção CH_4 por kg de SV_{removido} entre o calculado e o medido pela autora. As variações observadas podem ser explicadas pela diferença entre os outros parâmetros de cálculo utilizados no estudo, as características físico-químicas dos dejetos (GUSMÃO, 2008; DAL MAGO, 2009).

Os valores encontrados pela Equação 6 estão abaixo dos valores encontrados pela literatura sobre produção de CH_4 na digestão de dejetos suínos, o que comprova que o dimensionamento através de SV encontra-se mais adaptado para tratamento de dejetos suínos. Deve-se calibrar o parâmetro Y_{obs} para a produção de dejetos suínos ou buscar melhor entendimento da influência da concentração de DQO na produção de CH_4 .

É importante salientar que a produção potencial de CH_4 permite estimar o retorno que um produtor suinícola pode obter devido ao seu valor energético, muito embora tal retorno não seja quantificado neste estudo, já que não foram avaliados os custos de implantação de unidades beneficiadoras do biogás.

4.2.2. A PRODUÇÃO DE CH₄ E OUTRAS ENERGIAS

Para um melhor entendimento do benefício gerado pela produção de CH₄ em uma granja de suínos, foi estimado quanto a quantidade de CH₄ equivaleria em termos de óleo diesel (L) e energia (kWh). A Tabela 19 que apresenta valores estimados para o cenário 1 e o cenário 2, sendo os dados de produção potencial de CH₄ utilizados para a equivalência, àqueles obtidos pela Equação 7.

Tabela 19 - Equivalência da produção potencial de metano com outras fontes de energia.

Nº de suínos	Cenário 1			Cenário 2		
	CH ₄ (m ³)	Diesel (L)	Energia (kWh)	CH ₄ (m ³)	Diesel (L)	Energia (kWh)
300	15	12	31	37	29	76
600	31	24	63	75	59	152
900	46	36	94	112	88	229
1200	61	48	125	149	117	305

Os valores obtidos na Tabela 19 mostram que no biodigestor para o cenário 2 ocorre a geração de mais óleo diesel e energia por dia do que no biodigestor para o cenário 1, em uma proporção de 2,42 e 2,45 respectivamente para granjas com o mesmo número de suínos instalados.

Comparando uma granja de 300 suínos com produção diária do cenário 2 e uma granja de 600 suínos no cenário 1 verifica-se que a primeira gera mais energia, o que demonstra o maior potencial de produção de energia em dejetos menos diluídos e com maior concentração de SV, evidenciando a importância do controle de água no manejo de suínos para a produção do CH₄.

4.3. ANÁLISE DO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DOS BIODIGESTORES

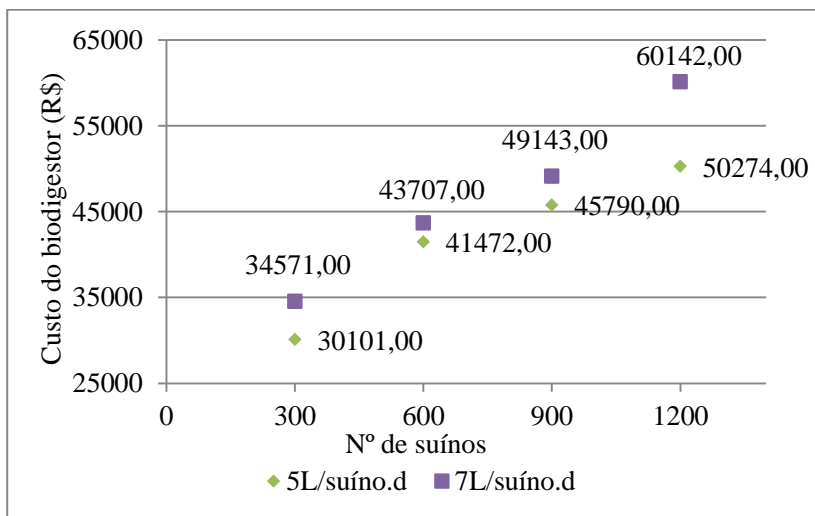
4.3.1. ANÁLISE DO CUSTO GERAL DO BIODIGESTOR

A análise dos custos de implantação de biodigestores foi realizada para ambos os cenários estudados, considerando-se:

- Granjas com 300, 600, 900 e 1200 suínos instalados;
- TDH de 30 dias;
- Dois sistemas diferentes de amarração entre a lona inferior e a superior: ancoragem por viga (AV) ou no solo (AS).

Os valores orçados encontrando-se indicados no Anexo 1. A Figura 22 apresenta o custo total de implantação dos biodigestores para ambos os cenários através de AV em função do número de suínos da granja.

Figura 22 – Custo total de implantação dos biodigestores para ambos os cenários através de AV em função do número de suínos instalados na granja.



Na Figura 22 pode-se visualizar um aumento do custo total de acordo com o aumento do volume de dejetos produzidos, relacionado ao número de suínos de cada granja (Apêndice 1).

Comparando-se o cenário 1 e o cenário 2, o cenário 1 é o de maior custo de implantação da tecnologia, devido ao maior volume de dejetos produzidos (29% maior, conforme Tabela 16 - Vazão diária de dejetos produzidos para o cenário 1 e cenário 2.. A maior e menor diferença no custo de implantação da tecnologia, entre ambos os cenários, é observada nas granjas que possuem o menor e o maior número de suínos instalados.

A Tabela 20 exhibe a diferença para ambos os cenários, nos custos de implantação de biodigestores com ancoragem por viga em concreto (preço base: cenário 1).

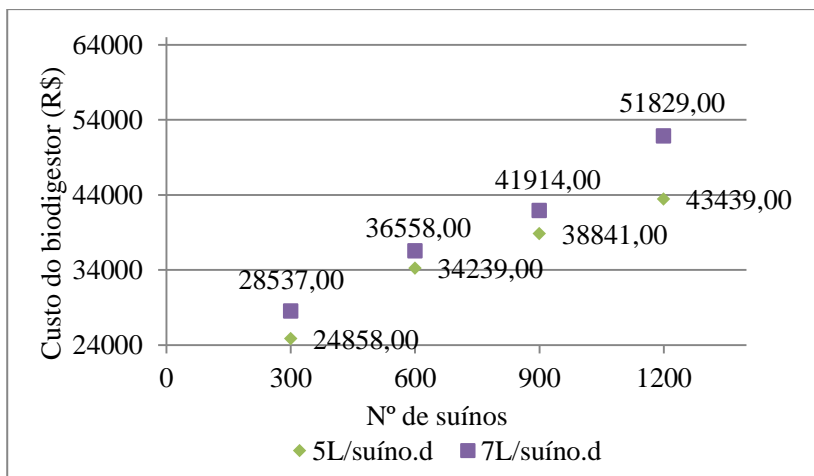
Tabela 20 - Diferença de custos de implantação de biodigestores com ancoragem por viga de concreto.

Nº de suínos	Cenário 1 vs Cenário 2	
	Diferença (R\$)	Diferença (%)
300	4470,00	13%
600	2235,00	5%
900	3353,00	7%
1200	9868,00	17%

Fonte: Adaptado de AVESUY (2013).

A Figura 23 apresenta o custo total de implantação dos biodigestores para ambos os cenários através de AS em função do número de suínos instalados na granja.

Figura 23 - Custo total de implantação dos biodigestores para ambos os cenários através de AS em função do número de suínos instalados na granja.



A observação da Figura 23 permite visualizar igualmente um aumento do custo total de acordo com o aumento do volume de dejetos produzidos, no entanto, a diferença entre os dois cenários é menor.

A Tabela 21 exibe a diferença para ambos os cenários, nos custos de implantação de biodigestores com ancoragem diretamente no solo (preço base: cenário 1).

Tabela 21 - Diferença de custos de implantação de biodigestores com ancoragem por viga em solo

Nº de suínos	Cenário 1 vs Cenário 2	
	Diferença (R\$)	Diferença (%)
300	3679,00	13%
600	1604,00	4%
900	3073,00	7%
1200	8390,00	16%

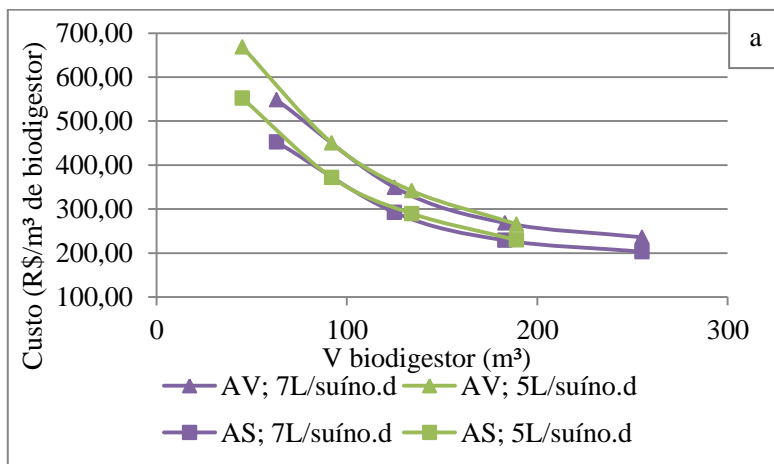
A tecnologia de amarração em solo (AS) apresenta-se menos custosa para o suinocultor no momento de sua implantação, variando em

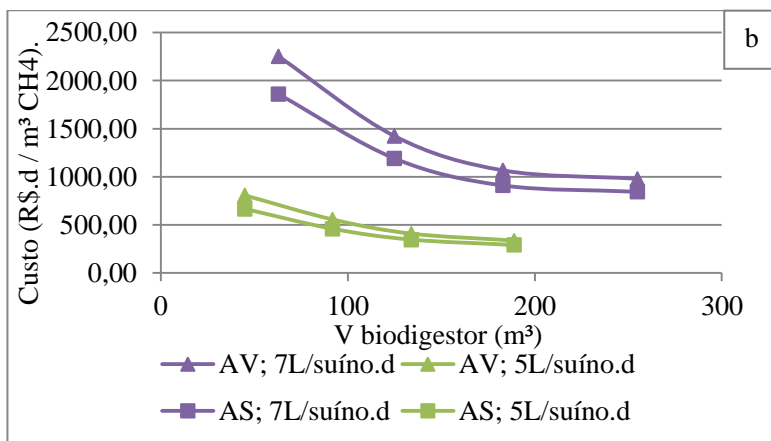
média o valor de R\$ 7000,00 entre projetos do mesmo volume de dejetos (Figura 22 e Figura 23). De acordo com os especialistas técnicos da empresa AVESUY, apesar de menos custosa para sua implantação, a manutenção da AS é mais complicada, justificando-se a implantação da AV.

4.3.2. CUSTO POR BIODIGESTOR E POR PRODUÇÃO DE CH_4

Para uma melhor visualização do preço de implantação do biodigestor, a Figura 24 apresenta o custo do biodigestor por m^3 de Vu (Volume útil) (a) e o custo do biodigestor por m^3 CH_4 produzido (b). Os valores brutos encontram-se no Apêndice 4.

Figura 24 – (a) Custo do biodigestor por Vu; (b) Custo do biodigestor por m^3 de CH_4 produzido em função do volume do biodigestor.





A Figura 24a mostra que na medida em que o volume útil necessário para dimensionar o biodigestor aumenta, o seu preço diminui e tende a estabilizar a um preço fixo de $\text{R}\$180,00 \cdot \text{m}^{-3}$ de V_u . Este valor difere do mostrado por Lindemeyer (2008), que encontrou um valor de $\text{R}\$266,67 \cdot \text{m}^{-3}$ de V_u , para um biodigestor de 300 m^3 . Por outro lado, o valor de $\text{R}\$180,00 \cdot \text{m}^{-3}$ de V_u do biodigestor está próximo ao estimado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2013).

Para os valores apresentados pela AVESUY, existe um custo mínimo e máximo para materiais e mão-de-obra, dependendo da faixa de volumes requisitada. Desta forma, para os biodigestores dimensionados no cenário 2, embora apresentem um menor volume útil e um custo total de implantação mais baixo, o seu custo por m^3 implantado vai ser superior. Convém referir que comparando o preço de ambos os cenários, um produtor com 1200 suínos no cenário 2 pagaria aproximadamente o mesmo preço que um produtor com 900 suínos no cenário 1.

Para a análise do custo por produção potencial de CH_4 , tal relação se inverte (Figura 24b). Os biodigestores do cenário 2 apresentam menor custo por m^3 de CH_4 produzido, dado que a produção potencial estimada foi superior em uma proporção aproximada de 2,4. Tais resultados indicam que, para um biodigestor de 100 m^3 , o suinocultor deverá realizar um investimento de aproximadamente

R\$1500,00 para produzir 1 m³ de CH₄ para o cenário 1 e de aproximadamente R\$500,00 para produzir 1 m³ para o cenário 2, desconsiderando-se investimentos para o tratamento do biogás.

4.3.3. ANÁLISE DE CUSTO POR ITEM DO BIODIGESTOR

A Figura 25 e a Figura 26 apresentam a relação de custos dos 5 principais itens que apresentam maior peso no orçamento da implantação dos biodigestores para os sistemas de amarração AV e AS respectivamente. Os volumes úteis de 45, 92, 134 e 189 m³ foram dimensionados para granjas com 300, 600, 900 e 1200 suínos instalados para o cenário 2. Os restantes foram dimensionados para o mesmo número de suínos, mas para o cenário 1 (Apêndice 1).

A organização dos resultados objetiva a comparação entre o aumento dos preços base dos itens e o aumento do volume útil do biodigestor. Atividades ou equipamentos com custo superior R\$2000,00 foram listados separadamente. Aqueles que apresentavam valor inferior a R\$2000,00 foram enquadrados e considerados na categoria “Outros”. O item MDO referencia-se à mão-de-obra. As tabelas com os resultados gerais encontram-se no Apêndice 5 e Apêndice 6, respectivamente.

Figura 25 - Análise parcial de custo dos diversos itens dos biodigestores com amarração em viga de concreto.

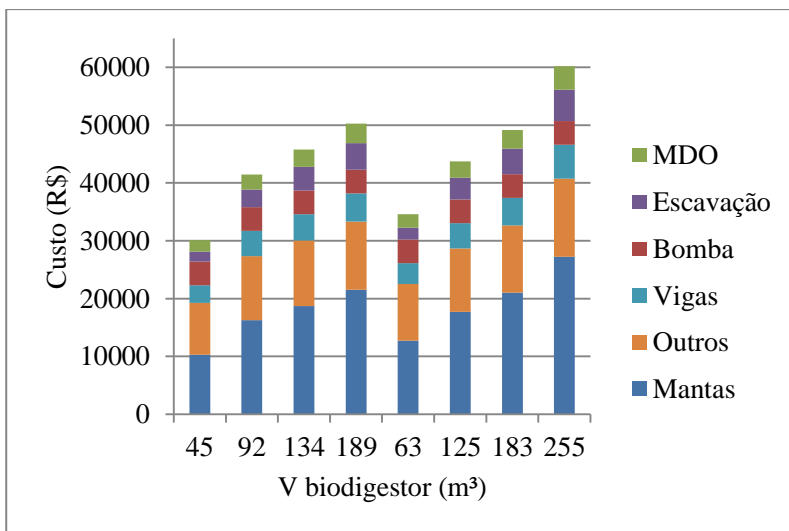
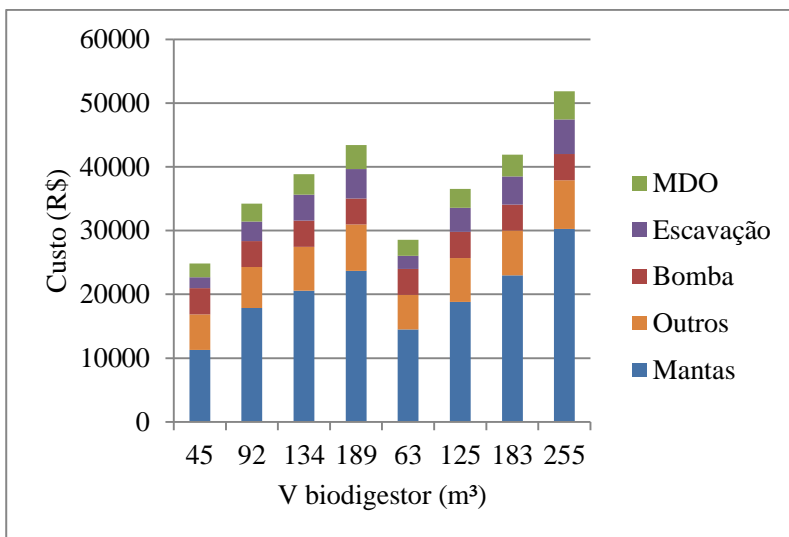


Figura 26 - Análise parcial de custo dos diversos itens dos biodigestores com amarração no solo.



A Figura 25 e a Figura 26 mostram que as mantas (de 0,08 e 1,00 mm) apresentam em conjunto o maior peso no custo do biodigestor. As duas mantas representam, respectivamente, 34 a 58% do custo total, aumentando o seu peso no preço na medida em que o volume útil do biodigestor a implantar aumenta (maior quantidade de material necessária). Oliver et al. (2008) afirmam que as mantas são o maior investimento para construção do biodigestor canadense.

Apesar de terem sido encontrados maiores valores de custo das mantas no contexto geral da obra, os valores orçados pela AVESUY foram menores do que os de Oliver et al. (2008). Para estes autores, o investimento das lonas pode variar de R\$88,86 a 237,33 por m³ de câmara fermentativa em biodigestores variando de 3 a 30m³. Os valores encontrados nesta pesquisa através do orçamento da AVESUY variam de R\$106,82 a 250,78 por m³ de câmara fermentativa em digestores com volumes entre 45 e 255 m³.

Para os demais equipamentos e atividades orçadas, os menores custos de implantação estão relacionados à mão-de-obra (6 a 9%) e à escavação (6 a 11%) em ambos os sistemas de ancoragem. O peso dos valores destes itens aumenta conforme o volume do biodigestor. As bombas representam custos de 7 a 16%, sendo que sua participação nos custos diminui quanto maior o volume do biodigestor. Isto ocorre porque seu preço é fixo para os sistemas em questão enquanto os outros itens estão relacionados com o volume.

Estão inclusos na categoria “Outros” os seguintes itens: brocas, caixa de passagem, tubulação de limpeza, entrada e saída, tubo de drenagem, geotêxtil, parafusos com chumbador químico, chapa zincada, registro, válvula de segurança e tubulação para coleta do biogás. Em biodigestores com viga em concreto armado, o custo destes itens varia de 22 a 29%, diminuindo quanto maior o volume do biodigestor. Isto ocorre devido ao aumento de participação de custos de outros itens como as mantas e a escavação (Figura 25 e Figura 26). Para os biodigestores com amarração em solo, o custo varia entre 15 e 22%, sendo menor devido a não utilização de brocas e parafusos com chumbador químico.

5. CONCLUSÕES

Sendo a água um recurso escasso que deve ser protegido, o estudo mostra os benefícios que a boa gestão do uso da água no manejo de suínos proporciona na implantação da biodigestão como tecnologia de tratamento dos dejetos suínos.

Volumes menores de produção de dejetos suínos com maior concentração de SV necessitam de biodigestores de menor volume para o dimensionamento através do TDH. Em relação ao parâmetro C_v , o volume vai depender das características de entrada do dejetos ou das condições de projeto. A concentração de SV no dejetos suíno é diretamente proporcional a produção potencial de CH_4 , interferindo, portanto, no custo do biodigestor.

De acordo com os dados adotados na revisão bibliográfica são apresentadas as seguintes conclusões:

- ✓ Para o parâmetro TDH, os biodigestores dimensionados para uma produção de $5 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ apresentam um volume 29% menor do que os biodigestores dimensionados para uma produção de $7 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$;
- ✓ O dimensionamento através do parâmetro $C_v = 1,5 \text{ kg SV} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ foi condizente com o dimensionamento pelo TDH = 30 e TDH = 35 dias para um efluente que produz $5 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ a uma concentração de aproximadamente $45,7 \text{ g SV} \cdot \text{L}^{-1}$.
- ✓ Para efluentes menos concentrados, devem-se adotar menores C_v para que o dimensionamento seja condizente com o dimensionamento através de TDH 30 dias;
- ✓ A produção de CH_4 é superior para o cenário 2 ($5 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) a uma concentração de aproximadamente $45,7 \text{ g SV} \cdot \text{L}^{-1}$). Para o cenário 1, estimou-se a produção de CH_4 para $0,051 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ e para o cenário 2, de $0,124 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$;
- ✓ A diferença no custo entre ambos os cenários é maior em biodigestores para granjas com 300 suínos ou em biodigestores para granjas com 1200 suínos (13 e 17%). Em granjas com 600 e 900 suínos, a diferença de custo

varia de 3 a 7%: isto ocorre pelo percentual de peso de cada item que varia diferentemente para cada volume de biodigestor;

- ✓ O custo do biodigestor·m⁻³ de câmara fermentativa é menor quanto maior o volume do biodigestor.
- ✓ O custo da produção de 1m³ de CH₄ diminui com o aumento do biodigestor e da concentração em SV do dejetos suíno (cenário 2);
- ✓ As mantas de PVC representam de 34 a 58% dos custos da implantação de um biodigestor. Os custos variam de R\$106,82 a 250,78 por m³ de câmara fermentativa e o aumento dos custos e da porcentagem estão relacionados com o aumento do volume do biodigestor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES DE SUÍNOS.
Relatório Anual de 2009. Concórdia, ACCS, 37p, 2009.

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES DE SUÍNOS.
Relatório Anual de 2011. Concórdia, ACCS, 37 p., 2011.

ALVES, R. G. C. de M. **Tratamento e valorização de dejetos da suinocultura através de processos anaeróbios – operação e avaliação de diversos reatores em escala real.** Tese (doutorado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, 172 p. UFSC, Florianópolis, 2007.

ANDRADE, M. A. N.; NINO R.; RANZI, T. J. Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4, Campinas, **Anais...**, Edit. AGRENER, 2002.

AVESUY. Comunicação pessoal, 2013.

BABOT, D. G. et al. Farm technological innovations on swine manure in Southern Europe. **Revista Brasileira de Zootecnia** [suplemento especial], v. 40, p. 334-343, 2011.

BELLI FILHO, P. et al. Avaliação de impactos de odores em bacias hidrográficas com produções de suínos. **Engenharia Sanitária Ambiental**, vol.12, n.3, p. 252-258, 2007.

BELLI FILHO, P. et al. Tecnologias para o tratamento de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande - PB**, v. 5, n. 1, p. 166-170, 2001.

BELLI FILHO, P. **Stockage et odeurs des dejections animales cas du lisierdeporc**. Thèse. Université de Rennes, U.F.R. École Nationale Supérieure de Chimie. Rennes, France. 1995. 181p.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Pecuária Municipal 2011**. Rio de Janeiro, v. 39, 2011. p. 1-60. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2011/ppm2011.pdf>>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2011.

CASTANHO, D. S.; ARRUDA, H. J. . BIODIGESTORES. In: SEMANA DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, n. 6, p. 1 – 7. Ponta Grossa: UTFPR, 2008.

CHAE, K. J. et al. The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogás yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manue. **Bioresource Techonology**, v.99, p.001-006, 2008.

CHELME-AYALA, P. et al. Advanced treatment of liquid swine manure using physico-chemical treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 186, p. 1632–1638, 2011.

CHEN, Y. R. Terminal properties of beef cattle manure. **Agric. Wastes**, v. 6, 13, 1983.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte, 379 p., 2007.

CORRÊA, J. C. et al. Aplicações de Dejetos de Suínos e as Propriedades do Solo. Concórdia, SC Circular técnica, 58 EMBRAPA. Setembro, 2011.

COUTINHO, C. I. **Planejamento para o manejo de dejetos suínos. Estudo de caso: Bacia dos Fragosos, Concórdia/SC**. Dissertação de

Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPGEA, UFSC. Florianópolis/SC, 2001.

CRAVEIRO, A. M.; LA IGLESIA, M. R. de; HIRATA, Y. S. **Manual de biodigestores rurais**. São Paulo: Ipt, 1982. 61p.

DAL MAGO, A. **Avaliação de biodigestores com o uso de dejetos de suínos em Braço do Norte e em Concórdia**. 152 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

DA ROCHA, D. T. **Competitividade entre os sistemas integrado e independente de produção de suínos**. 108 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2006.

DEGANUTTI, R. et al. Biodigestores Rurais: modelo indiano, chinês e batelada. IN: ENCONTRO ENERGIA NO MEIO RURAL, 4, **Anais...**, 2002.

DE GUARDIA, A., et al. Comparison of five organic wastes regarding their behaviour during composting: Part 1, biodegradability, stabilization kinetics and temperature rise. **Waste Management**, v. 30, n. 3, p. 402-414, 2010.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C.. Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves; Emater/RS, 2002. Boletim informativo de pesquisa e extensão, 14. 30p.

EMBRAPA, CNPSA. Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos – Manual de boas práticas. PNMA II – Gestão Integrada de ativos ambientais, 109 p. Concórdia, Santa Catarina, 2004.

EMBRAPA, CNPSA. Boas Práticas de Produção de Suínos. Circular técnica, 60 p. Concórdia, 2006.

EMBRAPA. Disponível em:

<<http://www.cnpa.embrapa.br/invtec/09.html>>, Acesso: 01 de junho de 2013.

FREITAS, M. B. **Gestão da produção de energia por biodigestores na cooperativa regional agropecuária de campos novos e seus integrados**. Trabalho de Conclusão de Curso, 70 p.. Engenharia de Agronomia, Florianópolis/SC, 2011.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. Instrução Normativa n.º 34, de 2008. 2008a. Disponível em: <http://www.fatma.sc.gov.br>. Acesso: 10 de Janeiro de 2012.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. Instrução Normativa n.º 37, de 2008. 2008b. Disponível em: <http://www.fatma.sc.gov.br>. Acesso: 10 de Janeiro de 2012.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. Instrução Normativa n.º 11, de 2009. Disponível em: <http://www.fatma.sc.gov.br>. Acesso: 10 de Janeiro de 2012.

GOSMANN, H. A. **Estudos comparativos em esterqueira e bioesterqueira para o armazenamento e valorização dos dejetos suínos**. Florianópolis/SC, 1997. Dissertação de Mestrado. UFSC. 126p.

GOULART, R. M. **Processo de compostagem: alternativa complementar para o tratamento de camas biológicas de dejetos suínos**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPGEA, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

GUSMÃO, M. M. F. e C. de C. **Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina**. 170 p. Dissertação

(Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

HAACK, S. C. **Análise técnica e econômica para aproveitamento dos dejetos de caprinos em biodigestores no semiárido baiano.** 215p. Dissertação de Mestrado em Economia. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

HENN, A. **Avaliação de dois sistemas de manejo de dejetos em uma pequena propriedade produtora de suínos – condições de partida.** 157 p. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – **Global Warning Potentials.**

Disponível em: <http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php> , Acesso em 2013.

CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA. Elaboração do Levantamento Agropecuário Catarinense –LAC. Florianópolis; Instituto Ceba / Secretaria de Estado da Agricultura e Política Rural.2005.40p.< http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php>. Acesso em 1 de julho de 2013.

ITAIPU. Disponível em <<http://www.plataformaitaipu.org.br>>. Acesso em maio de 2008.

KOZEN, E. A. **Avaliação quantitativa e qualitativa dos dejetos suínos em crescimento e terminação, manejados em forma líquida.** Belo Horizonte: UFMG, 1980. 56p. Tese de Mestrado.

KUNZ et al. Recomendações técnicas para uso de esterqueiras para a armazenagem de dejetos suínos. **Comunicado Técnico.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, n. 361, p. 1-4, 2004.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. de. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília**, v. 22, n. 3, p. 651-665, 2005.

LA FARGE, B. **Le biogaz: Procédés de fermentation méthanique**. Paris: Masson, 237 p., 1995.

LIMA, G. J. M. M.; NONES, K. A influência da nutrição sobre o potencial poluente dos dejetos suínos. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIOS ESPECIALISTAS EM SUÍNOS, 9, **Anais...** Belo Horizonte, 1999. p. 92-106.

LINDEMEYER, R. M. **Análise da viabilidade econômico-financeira do uso de biogás como fonte de energia elétrica**. 2008.105p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás: um projeto de saneamento urbano**.

MEDRI, W. **Modelagem e utilização de lagoas facultativas para o tratamento de dejetos suínos**. 206f. Dissertação Tese de Doutorado-Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and reuse**. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 2003

MOHEDANO, R. A., et al. Nutrient Recovery from Swine Waste and Protein Biomass Production Using Duckweed Ponds (*Landoltia punctata*) - Southern Brazil. **Water Science and Technology**, v. 65, p. 2042-2048, 2012.

MONTEIRO, L. W. S. **Avaliação do desempenho de dois sistemas em escala real para o manejo de dejetos suínos: lagoa armazenamento**

comparada com biodigestor seguido de lagoa de armazenamento.

146p. Dissertação- Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

NARDI, V. K. Produção de efluentes e balanço de nutrientes em granjas de terminação de suínos no oeste do estado do Paraná.

2009. 67p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Setor de Ciências Agrárias. UFP, 2009.

NISHIMURA, R. Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granjas de suínos: implemento de aplicativo computacional.

97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de (Coord.). Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1993. Documento, 27. 188p.

OLIVEIRA, P. A. V. de. Impacto ambiental causado pela suinocultura. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECNIA, v. 5, Uberaba, MG. **Anais...**, p. 142-161, 2003.

OLIVEIRA, P. A. V. de. Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas, Concórdia: Embrapa

Suínos e Aves. PNMA II – Programa Nacional do Meio Ambiente, 2004. 109p.

OLIVEIRA, Paulo Armando; HIGARASHI, Martha; NUNES, Maria Luísa. Emissão de gases, na suinocultura, que provocam efeito estufa. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 12p.

OLIVEIRA, P. A. V. de. Projeto de biodigestor e estimativa de produção de biogás em sistema de produção. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2005. Comunicado Técnico, 417, 8p.

OLIVEIRA, P. A. V. de, et al.. Uso dos resíduos de sistema de crescimento e terminação de suínos para a produção de biogás. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINARIOS ESPECIALISTAS EM SUÍNOS, 12., 2005, Fortaleza. **Anais...**, Fortaleza, ABRAVES, 2005. p.512-513.

OLIVEIRA, Paulo Armando; HIGARASHI, Martha. **Geração e utilização do biogás em unidades de produção de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. PNMA II – Programa Nacional do Meio Ambiente, 2006. 41 p.

OLIVER, A. de P. M. et al.. Manual de treinamento em biodigestão – Winrock International Brasil, 23 p., 2008.

PAILLAT, J.M. et al.. Effet du compostage d'effluents porcins sur les émissions gazeuses et les teneurs en éléments polluants. Rennes: INRA, Centre de Recherches de Rennes, 2005. 106 p.

PALHARES, J. C. P., ET AL. P. Impacto microbiológico na qualidade da água de uma microbacia caracterizada pelo uso dos resíduos animais como fertilizante. IN: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS, I, **Anais...**, Florianópolis/SC, 2009.

PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. de ; KUNZ, A. Sistemas de tratamento e utilização de dejetos suínos: inventário tecnológico. EMBRAPA Suínos e Aves. Documento 85, 83 p. Concórdia, 2003.

PERDOMO, C. C. Sugestões para manejo, tratamento e utilização de dejetos suínos. Instrução técnica para o produtor. EMBRAPA – CNPSA. Concórdia, 1999.

PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. de Valorize os dejetos animais: use o biodigestor. EMBRAPA Suínos e Aves. Folder. 2000.

ROHDEN, F., et al.. Monitoramento microbiológico do Extremo Oeste de Santa Catarina. **Ciência Saúde Coletiva**, v. 14, n. 6, 2009.

SANCHEZ, E., et al. Effect of organic loading rate on the stability, operational parameters and performance of a secondary upflow anaerobic sludge bed reactor treating piggery waste. *Bioresource Technology*, v. 96, p. 335-344, 2005.

SILVA, F. C. M. **Tratamento dos dejetos suínos utilizando lagoa de alta taxa de degradação em batelada**. 1996. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

SINOTTI, A.P.S. **Avaliação do volume de dejetos e carga poluentes produzidos por suínos nas diferentes fases do ciclo criatório**. 100p. Dissertação (Mestrado em agroecossistemas). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

TAVARES, J. M. R. Comunicação pessoal, 2013.

TAVARES, J. M. R. **Consumo de água e produção de dejetos na suinocultura**. 232 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

TAVARES, J.; OLIVEIRA, P. A. V. de; BELLI FILHO, P. Sustentabilidade da suinocultura – Reduções de consumo de água e de dejetos na produção animal. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 15., 2012, Belo Horizonte, MG. **Anais eletrônicos ...** Rio de Janeiro, 2012. 10p.

Tecnologia e treinamento, 2012. Disponível em:

<http://www.tecnologiaetreinamento.com.br/agroindustrias/energia-alternativa-energia/construcao-operacao-biodigestores-manejo-dejetos/>
acessado em 26 05 2013

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Foreign agricultural service. Livestock and poultry: world markets and trade. Competition tightens among key beef exporters in 2012. 2011, 28p.. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2011.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE/UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Unified National Strategy for Animal Feeding Operations, Washington, March 9, 1999. Disponível em: <<http://www.epa.gov/npdes/pubs/finafost.pdf>>. Acessado em 27 de maio de 2013.

ZAGO, S. Potencialidade de produção de energia através do biogás integrada à melhoria ambiental em propriedades rurais com criação intensiva de animais, na região do Meio Oeste Catarinense. 2003. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTORES DO
MODELO CANADENSE EM FUNÇÃO DO TDH (30 E 35 DIAS)

Nº suínos	Volume biodigestor (m ³)		
	cenário 1	cenário 2	Diferença
	7 L·suíno ⁻¹ ·d ⁻¹	5 L·suíno ⁻¹ ·d ⁻¹	
300	63	45	18
400	84	60	24
500	105	75	30
600	126	90	36
700	147	105	42
800	168	120	48
900	189	135	54
1000	210	150	60
1100	231	165	66
1200	252	180	72

Nº suínos	Volume biodigestor (m ³)		
	cenário 1	cenário 2	Diferença
	7 L·suíno ⁻¹ ·d ⁻¹	5 L·suíno ⁻¹ ·d ⁻¹	
300	74	53	21
400	98	70	28
500	123	88	35
600	147	105	42
700	172	123	49
800	196	140	56
900	221	158	63
1000	245	175	70
1100	270	193	77
1200	294	210	84

APÊNDICE 2 - DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTORES COM
CV = 1,5 KG SV·M³·D⁻¹.

Nº suínos	Volume biodigestor (m³)		
	cenário 1	cenário 2	Diferença
	7 L·suíno ⁻¹ ·d ⁻¹	5 L·suíno ⁻¹ ·d ⁻¹	
300	19	46	27
400	25	62	37
500	31	80	48
600	37	97	60
700	44	116	72
800	50	135	85
900	56	155	99
1000	62	176	113
1100	69	197	128
1200	75	219	144

APÊNDICE 3 - CÁLCULO DA PRODUÇÃO POTENCIAL DE METANO EM BIODIGESTORES DO MODELO CANADENSE

Equação 6: DQO_{removida} na biodigestão

Nº suínos	cenário 1		cenário 2	
	$7 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$		$5 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	
	Vu (m³)	CH ₄ ·d ⁻¹ (m³)	Vu (m³)	CH ₄ ·d ⁻¹ (m³)
300	63	9,93	45	23,92
400	84	13,24	60	31,89
500	105	16,55	75	39,87
600	126	19,86	90	47,84
700	147	23,17	105	55,81
800	168	26,48	120	63,78
900	189	29,78	135	71,76
1000	210	33,09	150	79,73
1100	231	36,40	165	87,70
1200	252	39,71	180	95,68

Equação 7: SV presente nos dejetos

Nº suínos	cenário 1		cenário 2	
	$7 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$		$5 \text{ L} \cdot \text{suíno}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	
	Vu (m³)	CH ₄ ·d ⁻¹ (m³)	Vu (m³)	CH ₄ ·d ⁻¹ (m³)
300	63	15,36	45	37,30
400	84	20,47	60	49,73
500	105	25,59	75	62,17
600	126	30,71	90	74,60
700	147	35,83	105	87,03
800	168	40,95	120	99,46
900	189	46,07	135	111,90
1000	210	51,19	150	124,33
1100	231	56,30	165	136,76
1200	252	61,42	180	149,20

APÊNDICE 4 - ANÁLISE DOS CUSTOS DOS BIODIGESTORES EM FUNÇÃO DO VOLUME ÚTIL DO BIODIGESTOR E DA PRODUÇÃO DE CH₄

Custo do biodigestor em função do Vu por volume de biodigestor

Cenário	Vu biodigestor (m ³)	Custo da AV (R\$/m ³ Vu)	Custo da AS (R\$/m ³ Vu)
1 7 L·suíno⁻¹·d⁻¹	63	548,75	452,97
	125	349,66	292,46
	183	268,54	229,04
	255	235,85	203,25
2 5 L·suíno⁻¹·d⁻¹	45	668,91	552,40
	92	450,78	372,16
	134	341,72	289,86
	189	266,00	229,84

Custo da produção potencial de CH₄ por volume de biodigestor

Cenário	Vu biodigestor (m ³)	Custo da m ³ de CH ₄ para AV (R\$/m ³ CH ₄)	Custo da m ³ de CH ₄ para AS (R\$/m ³ CH ₄)
1 7 L·suíno⁻¹·d⁻¹	63	2251,37	1858,42
	125	1423,17	1190,39
	183	1066,78	909,86
	255	979	844
2 5 L·suíno⁻¹·d⁻¹	45	807,01	666,45
	92	555,93	458,98
	134	409,21	347,11
	189	337	291

APÊNDICE 5 - CUSTOS DOS ITENS DE IMPLANTAÇÃO DOS BIODIGESTORES QUE POSSUEM VALOR MAIOR A R\$2000,00 PARA BIODIGESTORES COM AMARRAÇÃO EM VIGA

Cenário	Vu (m ³)	Custo Total (R\$)	Custo mantas (R\$)	Custo bomba (R\$)	Escavação (R\$)	MDO (R\$)	Vigas (R\$)	Demais (R\$)
1 7 L·suíno⁻¹·d⁻¹	45	30101,00	10296,00	4100,00	1700,00	2000,00	3040,00	8965,00
	92	41472,00	16264,00	4100,00	3060,00	2600,00	4370,00	11078,00
	134	45790,00	18715,00	4100,00	4080,00	3000,00	4560,00	11335,00
	189	50274,00	21517,00	4100,00	4590,00	3400,00	4845,00	11822,00
2 5 L·suíno⁻¹·d⁻¹	63	34571,00	12718,00	4100,00	2040,00	2300,00	3610,00	9803,00
	125	43707,00	17688,00	4100,00	3740,00	2800,00	4370,00	11009,00
	183	49143,00	21014,00	4100,00	4420,00	3200,00	4750,00	11659,00
	255	60142,00	27240,00	4100,00	5440,00	4000,00	5890,00	13472,00

APÊNDICE 6 - CUSTOS DOS ITENS DE IMPLANTAÇÃO DOS BIODIGESTORES QUE POSSUEM VALOR MAIOR A R\$2000,00 PARA BIODIGESTORES COM AMARRAÇÃO EM SOLO

Cenário	Vu (m³)	Custo Total (R\$)	Custo mantas (R\$)	Custo bomba (R\$)	Escavação (R\$)	MDO (R\$)	Vigas (R\$)	Demais (R\$)
1 7 L·suíno⁻¹·d⁻¹	45	24858,00	11285,00	4100,00	1700,00	2200,00	0,00	5573,00
	92	34239,00	17849,00	4100,00	3060,00	2800,00	0,00	6430,00
	134	38841,00	20562,00	4100,00	4080,00	3200,00	0,00	6899,00
	189	43439,00	23681,00	4100,00	4590,00	3800,00	0,00	7268,00
2 5 L·suíno⁻¹·d⁻¹	63	28537,00	14520,00	4100,00	2040,00	2500,00	0,00	5377,00
	125	36558,00	18810,00	4100,00	3740,00	3000,00	0,00	6908,00
	183	41914,00	22990,00	4100,00	4420,00	3400,00	0,00	7004,00
	255	51829,00	30250,00	4100,00	5440,00	4400,00	0,00	7639,00

ANEXOS

Projeto		1		2		3		4		5		6		7		8				
		Dimensões (C x L x P):		9,0m x 5,0m x 1,8m		12,0m x 5,0m x 1,85m		16,0m x 5,0m x 2,0m		15,0m x 6,0m x 2,5m		16,0m x 6,0m x 2,5m		16,0m x 7,0m x 3,0m		16,5m x 7,0m x 3,0m		22,0m x 7,0m x 3,0m		
		Vazão (m³/dia):		1,5		2,1		3,0		4,2		4,5		6,3		6,0		8,4		
		Volume Util Unitário (m³):		45		63		92		125		134		183		189		255		
Item	Descrição	Unid.	Valor Unit.	Qde	Valor Total	Qde	Valor Total	Qde	Valor Total	Qde	Valor	Qde	Valor	Qde	Valor	Qde	Valor	Qde	Valor	
1	Terraplanagem e escavação	hr	170,00	10	1.700,00	12	2.040,00	18	3.060,00	22	3.740,00	24	4.080,00	26	4.420,00	27	4.590,00	32	5.440,00	
2	Brocas	m	680,00	13	884,00	15	1.020,00	18	1.224,00	22	1.424,00	24	1.624,00	26	1.760,00	27	1.860,00	32	2.160,00	
3	Vigas em Concreto Armado	m	950,00	32	3.040,00	38	3.610,00	46	4.370,00	46	4.370,00	48	4.560,00	50	4.750,00	51	4.845,00	62	5.890,00	
4	Caixa de Passagem	Unid.	950,00	2	1.900,00	2	1.900,00	2	1.900,00	2	1.900,00	2	1.900,00	2	1.900,00	2	1.900,00	2	1.900,00	
5	Tubo de Limpeza - PVC 150 mm	Barra	112,00	2	224,00	2	224,00	3	336,00	3	336,00	3	336,00	3	336,00	3	336,00	3	336,00	
6	Tubo de Entrada e Saída - PVC 150 mm	Barra	112,00	2	224,00	2	224,00	2	224,00	2	224,00	2	224,00	2	224,00	2	224,00	2	224,00	
7	Tubo Dreno DN 65	m	6,90	30	207,00	40	276,00	55	379,50	50	345,00	60	414,00	60	414,00	65	448,50	85	586,50	
8	Geotêxtil G150	m	6,90	30	207,00	40	276,00	55	379,50	50	345,00	60	414,00	60	414,00	65	448,50	85	586,50	
9	Manta Inferior - PVC 0,80 mm	m²	38,00	132	5.016,00	161	6.118,00	208	7.904,00	231	8.778,00	245	9.310,00	278	10.564,00	284	10.792,00	355	13.490,00	
10	Manta Superior - PVC 1,00 mm	m²	55,00	96	5.280,00	120	6.600,00	152	8.360,00	162	8.910,00	171	9.405,00	190	10.450,00	196	10.755,00	250	13.750,00	
11	Parafuso Inox 3/8" com chumbador químico	Unid.	12,90	160	1.920,00	190	2.280,00	230	2.760,00	230	2.760,00	240	2.880,00	250	3.000,00	255	3.060,00	310	3.720,00	
12	Chapa Zincada 3/16 x 2"	m	34,00	32	1.088,00	38	1.272,00	46	1.564,00	46	1.564,00	48	1.632,00	50	1.700,00	51	1.734,00	62	2.108,00	
13	Registro PVC 75 mm	Unid.	125,00	1	125,00	1	125,00	1	125,00	1	125,00	1	125,00	1	125,00	1	125,00	1	125,00	
14	Válvula de Segurança	Unid.	890,00	1	890,00	1	890,00	1	890,00	1	890,00	1	890,00	1	890,00	1	890,00	1	890,00	
15	Mão-de-obra	Vb	1	2.000,00	1	2.300,00	1	2.600,00	1	2.800,00	1	3.000,00	1	3.200,00	1	3.400,00	1	3.600,00	1	4.000,00
16	Bomba Elétrica 5 cv	Unid.	4.500,00	1	4.500,00	1	4.500,00	1	4.500,00											

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA - PROJETOS ANCORADOS NO SOLO

Projeto:		1		2		3		4		5		6		7		8	
		Dimensões (C x L x P):		9,0m x 5,0m x 1,8m		12,0m x 5,0m x 1,85m		16,0m x 5,0m x 2,0m		15,0m x 6,0m x 2,5m		16,0m x 6,0m x 2,5m		16,0m x 7,0m x 3,0m		16,5m x 7,0m x 3,0m	
		Vazão (m³/dia):		1,5		2,1		3,0		4,2		6,5		6,0		8,4	
		Volume Util Unitário (m³):		45		63		92		125		134		183		189	
				255													
Item	Descrição	Unid.	Valor Unit.	Qtd	Valor Total	Qtd	Valor Total	Qtd	Valor Total	Qtd	Valor	Qtd	Valor	Qtd	Valor	Qtd	Valor
1	Terraplanagem e escavação	hr	170,00	10	1.700,00	12	2.040,00	18	3.060,00	22	3.740,00	24	4.080,00	26	4.420,00	27	4.580,00
2	Retroescavadeira	hr	100,00	5	500,00	7	700,00	9	900,00	12	1.200,00	13	1.300,00	15	1.500,00	16	1.600,00
3	Caixa de Passagem	Unid.	950,00	2	1.900,00	2	1.900,00	2	1.900,00	2	1.900,00	2	1.900,00	2	1.900,00	2	1.900,00
4	Tubo de Limpeza - PVC 150 mm	Barra	112,00	2	224,00	2	224,00	3	336,00	3	336,00	3	336,00	3	336,00	3	336,00
5	Tubo de Entrada e Saída - PVC 150 mm	Barra	112,00	2	224,00	2	224,00	2	224,00	2	224,00	2	224,00	2	224,00	2	224,00
6	Tubo Dreno DN 65	m	6,90	30	207,00	40	276,00	55	379,50	50	345,00	60	414,00	60	414,00	65	448,50
7	Geotêxtil G150	m	6,90	30	207,00	40	276,00	55	379,50	50	345,00	60	414,00	60	414,00	65	448,50
8	Manta Inferior - PVC 0,80 mm	m²	38,00	145	5.510,00	177	6.726,00	228	8.664,00	254	9.652,00	269	10.222,00	300	11.400,00	312	11.856,00
9	Manta Superior - PVC 1,00 mm	m²	55,00	105	5.775,00	132	7.260,00	167	9.185,00	171	9.405,00	188	10.340,00	209	11.495,00	215	11.825,00
10	Registro PVC 75 mm	Unid.	125,00	1	125,00	1	125,00	1	125,00	1	125,00	1	125,00	1	125,00	1	125,00
11	Válvula de Segurança	Unid.	890,00	1	890,00	1	890,00	1	890,00	1	890,00	1	890,00	1	890,00	1	890,00
12	Mão-de obra	Vb	1	2.200,00	1	2.500,00	1	2.800,00	1	3.000,00	1	3.200,00	1	3.400,00	1	3.800,00	
13	Bomba Elétrica 5 cv	Unid.	4.500,00	1	4.500,00	1	4.500,00	1	4.500,00	1	4.500,00	1	4.500,00	1	4.500,00	1	4.500,00
14	Tubo PVC 3" PN 60	Barra	56,00	16	896,00	16	896,00	16	896,00	16	896,00	16	896,00	16	896,00	16	896,00
TOTAL					24.858,00		28.537,00		34.239,00		36.558,00		38.841,00		41.914,00		43.439,00
																	51.829,00

Trabalho submetido à Banca Examinadora
como parte dos requisitos para Conclusão
do Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental –TCC II.

Orientador: Eng^o Jorge Manuel Rodrigues
Tavares, Ms

Co-orientdor: Prof. Paulo Belli Filho, Dr

Florianópolis, 2012